

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ
СБОРНЫХ КОМАНД РОССИИ»

АНАЛИТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФГБУ «ЦЕНТРА СПОРТИВНОЙ
ПОДГОТОВКИ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИИ»

Для ограниченного пользования

Выпуск 3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БОБСЛЕЕ

Обзор материалов зарубежных исследований

Рекомендовано к изданию методической комиссией
при Экспертном совете по вопросам организации
подготовки и участия спортивных сборных команд
Российской Федерации в Олимпийских играх
Минспорта Российской Федерации



ТВТ Дивизион
Москва 2012

Материалы исследований подготовлены на основании материалов НИИР, выполненных Кубанским государственным Университетом физической культуры, спорта и туризма и научно-исследовательским институтом проблем физической культуры и спорта КГУФКСТ в соответствии с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Минспорта России на 2012 год

*Редакционная коллегия ФГБУ «Центр спортивной
подготовки сборных команд России»:*

А.М. Кравцов (главный редактор), А.Г. Абалян,
С.П. Евсеев, Е.Б. Мякинченко, Т.Г. Фомиченко,
С.Л. Хоронюк, М.П. Шестаков (зам. главного редактора),
Ю.Н. Шилин (ответственный секретарь)

Современные технологии в бобслее: Обзор материалов зарубежных исследований. Выпуск 3. – М.: ТВТ Дивизион, 2012. – 64 с.

ISBN 978-5-98724-

Информационные материалы содержат описание особенностей применения современных компьютерных технологий для проектирования, различных компонентов бобслейных саней, разработки моделей пилотов для прогнозирования их действий в реальной обстановке соревнований, а также варианты комплексов физических упражнений, направленных на развитие скоростно-силовых способностей бобслеистов.

Сборник предназначен для тренеров и спортсменов сборных команд, а также специалистов различных научных направлений, принимающих участие в разработке инновационных технологий для проектирования современного материально технического обеспечения в бобслее.

УДК

ISBN 978-5-98724-

© Минспорта России, 2012
© Оформление, ТВТ Дивизион, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛОЗЬБЕВ ДЛЯ БОБСЛЕЙНЫХ САНЕЙ	4
ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ МЕЖДУ СТАЛЬЮ И ЛЬДОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛОЗЬЯМ БОБСЛЕЙНЫХ САНЕЙ	10
БОБСЛЕЙНЫЕ ЗАЕЗДЫ БЫСТРЫЕ, НО БЕЗОПАСНЫЕ	16
МОДЕЛЬ ПИЛОТА МУЖСКОГО БОБА-ДВОЙКИ.....	19
ПРОГРАММА ТРЕНИРОВОК ДЛЯ БОБСЛЕИСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СХЕМЫ ПОВТОРНЫХ СЕРИЙ УПРАЖНЕНИЙ	52

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛОЗЬЕВ ДЛЯ БОБСЛЕЙНЫХ САНЕЙ

Manufacturing of Bobsled Runners

Michael F. Zaeh1 and Paul Gebhard2

1TU Munich, Institute for Machine Tools and Industrial Management,

MichaeI.Zaeh@iwb.tum.de

2 TU Munich, Institute for Machine Tools and Industrial Management,

Paul.Gebhard@iwb.tum.de

(The Engineering of Sport 6, – 2006, – №3, – pp. 119-122)

Бобслейные сани как комплексная механическая система

В соревнованиях по бобслею разница между победой и поражением исчисляется в тысячные доли секунды. Наряду с профессиональными навыками пилота и разгоняющих основное влияние на время заезда оказывает конструкция бобслейных саней, и потому она является одним из главных факторов, определяющих место команды в финальной таблице.

На первый взгляд, бобслейные сани представляют собой сравнительно простое механическое устройство. Однако при более тщательном рассмотрении становится ясно, что это первое впечатление является ложным, и что боб – это сложная механическая система, влияние которой на время заезда определяется взаимодействием многочисленных физических законов. Эти законы включают аэродинамическое сопротивление саней, вибрационное состояние всей структуры, а также проблемы, связанные с трением полозьев о лед санно-бобслейной трассы.

В связи с многофункциональным характером такого рода механических систем был разработан проект под названием «Inno Bay». В роли его спонсора выступает Bayerische Forschungsfond (Баварский фонд научных исследований) – некоммерческая организация, целью которой является разработка инновационных методов и технологий для решения важных задач в различных областях техники, спорта и наук о материалах.

В связи со сложностью разработки бобслейных саней создание новой конструкции боба было признано одним из главных направлений реализации данного проекта. В работу над данным проектом вовлечены факультеты машиностроения и науки о спорте Технического университета г. Мюнхена, одна из кафедр Университета имени Фридриха-Александра в Эрлангене и Нюрнберге, а также промышленные партнеры и Баварская Ассоциация по бобслею.

Проблемы, связанные с изготовлением полозьев для бобслейных саней

Полозья бобслейных саней являются одним из основных структурных компонентов, оказывающих наиболее значимое воздействие на результативность заезда.

Они непосредственно влияют на силу трения на ледовой трассе и тем самым на скорость боба. Оптимальные условия трения достигаются путем применения наиболее эффективной комбинации материала, полировки поверхности и геометрии полозьев.

Однако по причине малой ширины и сложной геометрии полозьев их изготовление связано со значительными трудностями и сопровождается возникновением остаточных напряжений, которые приводят к отклонениям от заданных размеров. Данные отклонения оказывают

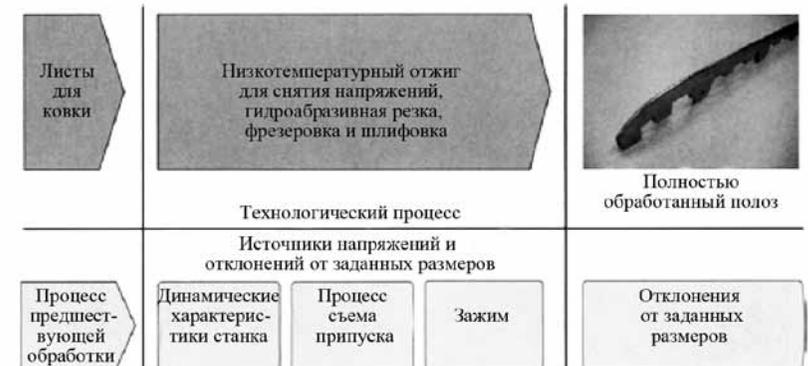


Рисунок 1. Источники напряжений и отклонений от заданных размеров в ходе технологического процесса изготовления полозьев

значительное влияние на результативность болида. По этой причине Институт машиностроения и промышленного управления (ИМПУ) совместно с Кафедрой медицинской техники проводит работу по разработке и испытаниям различных концепций минимизации отклонений от заданных размеров в процессе изготовления полозьев для бобслейных саней.

Влияние технологического процесса изготовления полозьев на отклонения от заданных размеров

Отклонения от заданных размеров могут происходить на всех этапах технологического процесса. На рисунке 1 представлена процедура изготовления полозьев для бобслейных саней и показаны источники напряжений и отклонений от заданных размеров на разных этапах (Hainzmaier 2005).

Как можно видеть, остаточные напряжения возникают уже во время процессов, предшествующих фактическому процессу изготовления полозьев. К ним относятся процессы формовки, включая штамповку, литье, вальцевание или, как в случае, представленном на рис. 1, ковку (Springer 1991). *Еще одним источником возможных отклонений в размерах служит структура применяемых станков.* Их упругая деформация и вибрационное состояние во время производственного процесса оказывают значительное влияние на точность изготавливаемых изделий. Данные проблемы уже становились объектом интенсивных исследований в прошлом (Minges 1993, Feinauer 1998).

Наряду с применяемыми станками и инструментами *на качество изготавливаемой продукции может влиять съём припуска на заготовках*, который вызывает пластическую деформацию поверхностного слоя изделия, что приводит к возникновению остаточного напряжения. Несмотря на малую толщину поверхностного слоя, остаточные напряжения действуют на всю деталь (Kiethe 1973) и могут стать причиной отклонений от заданных геометрических параметров.

Еще один аспект, оказывающий значимое воздействие на точность измерений, связан с зажимом обрабатываемых деталей на станке. Он играет особенно важную роль при обработке деталей с длинными и тонкими гранями, как у полозьев бобслейных саней. В связи с особенностями своей геометрии отдельные элементы конструкции этих деталей имеют сравнительно малые размеры и потому проявляют

тенденцию к сгибанию под действием прикладываемых к детали сил, например, в процессе съёма припуска (Kaufeld 1987). Поэтому необходимо применять надлежащий зажим детали в целях обеспечения необходимой опоры.

К недостаткам применения стратегии жесткого зажима относится возможность проявления отклонений в размерах. Их причиной могут служить отклонения, как в зажимаемых деталях, так и в самом механизме зажима. Особые проблемы возникают при зажиме деталей, изготовленных путем литья иликовки.

По причине неправильной геометрической формы подобные детали подвергаются упругой деформации под действием фиксирующей их опоры. Несмотря на обработку с применением теоретически точного зажимного устройства, у деталей были выявлены значительные отклонения в размерах, вызванные упругой отдачей после извлечения детали.

Аналогичный эффект может наблюдаться в результате деформации точно выверенной детали при применении неправильно отрегулированного зажимного устройства.

Цели ИМПУ

Цель ИМПУ состояла в анализе влияния процесса предшествующей обработки исходного материала, процесса съема припуска и зажимного устройства на степень отклонения от заданных размеров у деталей с длинными и тонкими гранями.

Для достижения данной цели предполагается создать экспериментальную установку, которая позволит исследовать влияние всех этих факторов по отдельности. Будут разработаны стратегии и концепции минимизации вышеуказанных отклонений, которые будут использоваться для подтверждения пригодности полозьев бобслейных саней (рис. 2).

Метод минимизации отклонений в заданных размерах

Первый этап метода минимизации отклонений в заданных размерах будет предусматривать выбор подходящего материала, оборудования и геометрических параметров образца. *Принимая во внимание финансовые и материальные затраты, испытываемые образцы не будут отражать точную форму фактического полоза, а будут представлять собой деталь, воспроизводящую конструкцию полоза в упрощенном виде.*



Рисунок. 2. Изготовление полоза для бобслейных саней на фрезерном станке

Для выбора наиболее подходящего для геометрических параметров данного образца зажимного устройства будут разработаны и испытаны его различные конструкции, обеспечивающие снижение внутреннего напряжения обрабатываемой детали.

Например, будет рассмотрена возможность применения инновационных технологий, таких как вакуумные зажимные системы или зажимные приспособления для литых заготовок.

Для оценки данных устройств будут проведены эксперименты на фрезерных станках при измерении обрабатываемых деталей. На основе результатов данных экспериментов будет выбрано зажимное устройство, позволяющее минимизировать влияние зажима на отклонения от заданных размеров.

Тем самым, будет обеспечена возможность для последующего определения влияния процессов съема припуска и предшествующей обработки, не смешивая его с влиянием зажима.

1. Feinauer, A. (1998) Dynamische Maschineneinflüsse auf die Werkstückqualität beim Hochgeschwindigkeitsfräsen. Diss. Medien Verlag Kohler, Tübingen.
2. Hainzlmaier, C. (2005) A new tribologically optimized bobsleigh runner. Diss. Technische Universität München, Munich.
3. Kaufeld, M. (1987) Hochgeschwindigkeitsfräsen und Fertigungsgenauigkeit dünnwandiger Werkstücke aus Leichtmetallguß. Diss. Hanser, München Wien.
4. Kiethe H. (1973) Oberflächengestalt und Eigenspannungsbildung beim Walzfräsen von Flachproben aus Ck45. Diss. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.
5. Minges, R. (1993) Verbesserung der Genauigkeit beim Fünffachsigen Fräsen von Freiformflächen. Diss. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.
6. Springer, H.-J. (1991) Abbau von Eigenspannungen in Gesenkschmiedestücken durch spezielle Wärmebehandlungen. Diss. VOI Verlag, Düsseldorf.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ МЕЖДУ СТАЛЬЮ И ЛЬДОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛОЗЬЯМ БОБСЛЕЙНЫХ САНЕЙ

The Effect of Pressure on Friction of Steel and Ice and Implementation to Bobsleigh Runners

Melanie Dumm¹, Christian Hainzmaier², Stephan Boerboom³, Erich Wintermantel⁴

1 TV Munich, Chair of Biomedical Engineering, Biocompatible Materials and Process Engineering, dumm@medtech.mw.tum.de

2 TV Munich Chair of Biomedical Engineering, Biocompatible Materials and Process Engineering, hainzmaier@medtech.mw.tum.de

3 TV Munich, Chair of Biomedical Engineering, Biocompatible Materials and Process Engineering, boerboom@medtech.mw.tum.de

4 TV Munich, Chair of Biomedical Engineering, Biocompatible Materials and Process Engineering, wintermantel@medtech.mw.tum.de

(The Engineering of Sport 6, – 2006, – № 3, pp. 103-106)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытательный стенд

Для проведения трибологических исследований трения между сталью и льдом применялся испытательный стенд Tribo Disc (рис. 1).

Он функционирует внутри климатической камеры, позволяющей осуществлять регулирование температуры в диапазоне от -20°C до $+15^{\circ}\text{C}$.

Испытательный стенд работает на основе схемы «штифт-диск», когда образец фиксируется на вращающемся диске. Образец движется по спиральной дорожке на поверхности льда, при этом преодолеваемое им расстояние может составлять 240 м по свежему льду.

Относительная скорость образца регулируется в пределах между 0,1 и 30 м/с. В процессе каждого испытания относительная скорость под-



Рисунок 1. Испытательный стенд Tribo Disc



Рисунок 2. Приемник образца

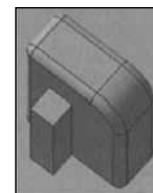


Рис. 3. Образец

держивалась на постоянном уровне. При этом действующая на образец нормальная сила измерялась посредством весовых пластин, фиксируемых в верхней части приемника образца (рис. 2.). Подготовка поверхности льда осуществлялась с помощью фрезы для скалывания и шлифовки льда, подобной тем, которые применяются на санно-бобслейных трассах.

Образец

Исследуемый образец обладает стандартными геометрическими параметрами и имеет площадь контакта с поверхностью льда 32 мм^2 (рис. 3). Поверхность скольжения полируется до достижения шероховатости, равной 11 мкм. В связи с этим влияние структуры поверхности скольжения является пренебрежимо малым.

Измерительное устройство

Для измерения силы трения и нормальной силы применяются тензометрические датчики. Измерительное устройство располагается таким образом, чтобы можно было бы одновременно выполнять измерения каждой из этих двух сил.

Результаты измерений передаются на регистратор данных, который осуществляет запись всех одновременно поступающих данных под одной и той же отметкой времени. Частота регистрации данных составляет 50 Гц.

Результаты

Испытаниям подвергались образцы из стали и закаленной стали при температурах -2°C и -15°C . Для получения графика функцио-

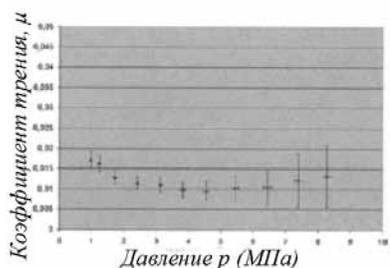


Рисунок 4. График $\mu - p$ для образца из стали при -2°C

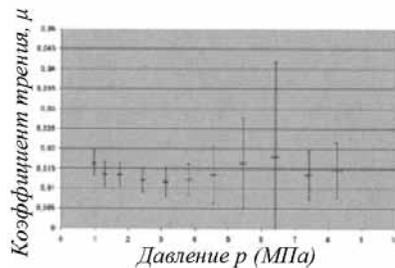


Рисунок 5. График $\mu - p$ для образца из закаленной стали при -2°C

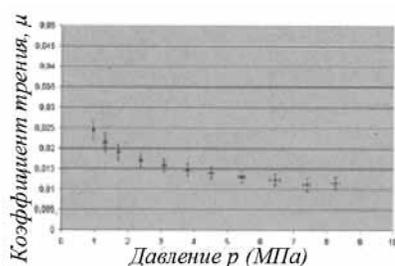


Рисунок 6. График $\mu - p$ для образца из стали при -15°C

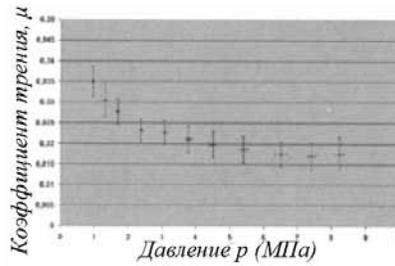


Рисунок 7. График $\mu - p$ для образца из закаленной стали при -15°C

нальной зависимости между коэффициентом трения и давлением ($\mu - p$ – график) во время испытаний осуществлялось поэтапное увеличение давления (рис. 4 -7).

В результате проведения экспериментов была выявлена общая тенденция, выражающаяся в снижении коэффициента трения с увеличением давления для обоих исследуемых образцов стали.

Кроме того, коэффициент трения, очевидно, зависит от температуры льда: в ходе испытаний при температуре -15°C были получены более высокие коэффициенты трения, чем при температуре -2°C .

Но между характеристиками графиков для температур -2°C и -15°C было выявлено одно существенное различие: при температуре -2°C наблюдалось оптимальное значение коэффициента трения для обоих образцов, в то время как при температуре -15°C тенденция к снижению коэффициента трения сохранялась вплоть до конца исследуемого нами диапазона давления.

Еще один интересный аспект представляют собой различия в исследуемых параметрах, выявленные при сравнении образца из стали и образца из закаленной стали.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как свидетельствуют результаты предыдущих исследований (Hainzmaier 2005, Voerboom Vienna 2005, Voerboom Belgrade 2005), коэффициент трения уменьшается при увеличении давления и возрастает при снижении температуры.

Оба этих эффекта были подтверждены также при проведении настоящего исследования. Однако в последнем случае в условиях постоянно увеличивающегося давления характеристики трения определялись для сравнительно широкого диапазона давления при выполнении одной и той же процедуры проведения испытаний.

При этом было выявлено оптимальное давление, способствующее наименьшей потере трения. В отличие от предположения, сделанного ранее одним из авторов (Hainzmaier 2005), которое состояло в том, что показатель оптимального давления снижается при более низких температурах в связи с увеличивающейся ломкостью льда, в настоящем исследовании была выявлена тенденция к повышению оптимального показателя давления при снижении температуры. Эффект пропахивания, а вместе с тем разрушение поверхности льда, наблюдается позднее при дальнейшем понижении температуры.

Одной из причин данных противоречивых результатов может служить улучшение ледовых поверхностей со времени проведения вышеуказанного исследования благодаря накапливающемуся с каждым годом опыту и появлению новых методов подготовки льда.

В настоящее время ледовые поверхности содержат меньшее количество воздушных пузырей, что, очевидно, способствовало более равномерному скольжению испытываемого образца при проведении данных экспериментов.

Кроме того, также были усовершенствованы измерительные устройства, что обеспечивало более высокую точность измерений.

Еще одним важным результатом настоящего исследования служит определение влияния термообработки на фрикционные свойства материала. В данном случае тепловая обработка стали приводила к снижению коэффициента трения.

Для практического применения результатов этого исследования по отношению к полозьям бобслейных саней потребовалось определить фактическое давление на полоз во время заезда. Поэтому для получения отпечатка следов, оставляемых полозом на санно-бобслейной трассе, был использован высокоточный оттисковый материал (Hainzmaier, Онтарио, 2005).

Для анализа отпечатков применялась растровая электронная микроскопия, на основе результатов которой было рассчитано фактическое давление между полозом и льдом.

Анализ показал, что во время движения боба наблюдалось очень низкое давление на прямых отрезках трассы, очень высокое давление на поворотах, но при этом никогда не возникало оптимальное давление, способствующее наименьшей потере на трение. Зная этот факт, можно попытаться оптимизировать геометрические параметры с учетом распределения давления по контактной поверхности полоза со льдом.

Влияние термообработки на коэффициент трения связано с высоким потенциалом оптимизации полоза. Однако этот потенциал ограничивается строгими правилами, принятыми Международной федерацией бобслея и тобогана. Так, с 1 января 2006 года были запрещены любые виды термической обработки полозьев бобслейных саней.

Тем не менее, данному вопросу должны быть посвящены дальнейшие исследования в связи с возможностью практического применения их результатов для других целей.

Литература

1. Hainzmaier, C. (2005) A new tribologically optimized bobsleigh runner. Zentralinstitut für Medizintechnik, Technische Universität München.
2. Boerboom, S., Hainzmaier, C., Kraus, F., Wintermantel, E. (2005) Tribologie im Stahl-Eis-Kontakt: Einfluss des Druckes. DiversWorkshop 2005, Vienna.
3. Boerboom, S., Hainzmaier, C., Kraus, F., Wintermantel, E. (2005) Effect of runner material on ice friction in bobsleigh. 10th Annual Congress of the European College of Sports Science 2005, Belgrade.
4. Hainzmaier, C. (2005) A method to study the surface of ice using an impression material. 62nd Eastern Snow Conference 2005, Ontario.

БОБСЛЕЙНЫЕ ЗАЕЗДЫ БЫСТРЫЕ, НО БЕЗОПАСНЫЕ

Bobsled runs – fast and yet safe
(*Fraunhofer, Research News, – 12-2011, – I, – Topic 5, – pp.11-12*)

В бобслее важно не только достичь высокой скорости движения саней, но и обеспечить безопасность экипажа. Поэтому инженеры должны точно рассчитать и смоделировать движение саней на отдельных участках трассы. В основе данных расчетов лежит величина силы трения между полозьями и льдом.

До сих пор основная проблема заключалась в сложности выполнения измерений трения на высоких скоростях, и получаемые в результате данные были довольно далеки от реальности. Это приводило к тому, что оценка скорости саней оказывалась сильно завышена или, наоборот, слишком занижена, что могло стать причиной возникновения несчастных случаев.



Рисунок 1. Вверху справа измерительное устройство с полозом и датчиком в ледяном канале; внизу справа разные типы полозьев: (слева направо) для боба, скелетона и тобоггана (© Fraunhofer IWM)

В будущем трассы должны стать более безопасными. Исследователи Института механики материалов IWM Общества им. Фраунгофера и Центра микротрибологии μ ТС в Пфинцтале разработали метод точных измерений уровня трения.

Благодаря этому они смогли обеспечить своих коллег – инженеров-консультантов из компании «Gurgel+Partner», отвечающих за проектирование и строительство санно-бобслейной трассы для проведения олимпийских игр в Сочи, солидной базой для выполнения соответствующих расчетов.

Специалисты, отвечающие за проектирование и строительство трассы полагают, что предложенное измерительное устройство позволяет оценивать точный уровень трения между санями и льдом при высоких скоростях.

Профессор доктор Матиас Шерге (Matthias Scherge), управляющий одного из подразделений IWM, считает, что на основе данного показателя уровня трения можно рассчитывать максимальную скорость, которую экипаж может развивать на заданном участке трассы.

Фактически экспериментальная «санно-бобслейная трасса» представляет собой огромный барабан, как в стиральной машине, имеющий 3,8 метров в диаметре, открытый с одной стороны и помещенный в бункер, который охлаждается до температуры -4°C . Внутри барабана находится слой льда, по которому скользят испытываемые полозья. Гидравлический цилиндр прижимает каждый полоз ко льду, имитируя вес саней и экипажа. При вращении барабана лед выскальзывает из-под полоза, слегка смещая как полоз, так и прикрепленный к нему датчик силы трения.

Таким образом, вместо того, чтобы оставаться в самой нижней точке, полоз немного приподнимается при вращении барабана. Величина подъема зависит от величины трения между полозом и льдом.

В испытаниях данного аппарата и других испытываемых устройств исследователи принимали во внимание многочисленные факторы, такие как структура льда.

Например, лед на санно-бобслейной трассе в Уистлере (Канада) имеет характеристики трения, которые отличаются от подобных характеристик льда в Красной Поляне (Сочи).

Влажность воздуха в Уистлере значительно выше по причине близости к Тихому океану, поэтому накопление льда происходит там более быстрыми темпами. В связи с этим учеными были созданы соответствующие климатические условия в лаборатории.

Они также исследовали влияние на полозья эффективности выполнения финиша для того чтобы выяснить насколько профессионально проведенный (выполненный) финиш влияет на скорость движения боба весом 630 кг.

Исследователи также пытаются воссоздать движения рулевого устройства болида: полозья на поверхности скольжения устанавливаются под углом, имитирующим их движение на поворотах. Минимальный уровень трения, то есть максимально возможная скорость, которая может быть достигнута на каждой конкретной трассе в зависимости от характеристик льда, принимается инженерами «Gurgel+Partner» за основу выполняемых ими расчетов (рис. 1).

МОДЕЛЬ ПИЛОТА МУЖСКОГО БОБА–ДВОЙКИ

A driver model of a two-man bobsleigh
Francesco Braghin • Mauro Donzelli • Stefano Melzi • Edoardo Sabbioni
(Sports Engineering, – 2011, – Vol. 13, – № 4, – pp. 181-193)

В 2007 году CONI (Национальным олимпийским комитетом Италии) была организована исследовательская группа, цель которой состояла в определении объективного влияния ряда параметров (напр., положения центра тяжести, рулевого управления, наклона управляемой передней оси и т.п.) на результативность мужской двойки в бобслее [1].

Действительно, наряду с оптимизацией характеристик скольжения болида и его аэродинамических свойств данные параметры оказывают значительное воздействие на результат заезда, поскольку во многом определяют реакцию саней на управление их движением на поворотах (как на стиль вождения, так и на выбор траектории), тем самым влияя на рассеивание энергии, связанное с боковым скольжением.

Под «стилем вождения» подразумевается манера управления пилотом бобслейными санями, движущимся по выбираемой траектории, т.е. резкое или плавное давление оказываемое им на подвижную переднюю ось, предвидение поворотов или торможение при заходе на поворот, наезд на стенки трассы при выходе из виража или поддержание сравнительно малого угла крена саней в целях сокращения преодолеваемого расстояния и т.д.

В ходе проведения экспериментов бобслейные сани были оснащены измерительными приборами для сбора данных по скорости, ускорению, угловой скорости, углом крена и поворота и контактными усилиям в течение серии заездов, выполняемых на олимпийской трассе в Чезана Париол.

Проводимые на трассе испытания, во время которых регистрировались параметры регулировки саней, такие как распределение веса, высота центра тяжести и т.п., четко продемонстрировали, как разница в показателях времени составляющая всего 0,5 секунд на старте

(на первых 50 м члены экипажа толкали боб с максимальной скоростью) может привести к различиям в результатах заездов составляющим примерно 55 секунд.

Результаты экспериментов также свидетельствуют о важности адаптации пилота к изменениям в регулировке саней, а также о необходимости учета факторов, способных повлиять на воспроизводимость результатов, включая изменения состояния поверхности льда и температуры, ошибки управления и различия во времени на старте, которые могут маскировать воздействие различий в регулировке боба на общую результативность.

В силу всех этих причин была доказана целесообразность применения численного анализа для выявления влияния различных параметров регулировки бобслейных саней на демонстрируемую ими результативность, хотя некоторые ограничения применения численного моделирования (например, недостаточная изученность фрикционных свойств льда) могут повлиять на достоверность результатов данного анализа. Поэтому была создана трехмерная «многочастичная модель», разработка которой выполнялась в программной среде Matlab/SimMechanics [2].

Наряду с «многочастичной моделью» саней данное средство имитационного моделирования включает численную характеристику трехмерной трассы [3], модель контакта полоза со льдом и бокового демпфера со льдом [4], а так же алгоритм пилота.

Влияние стиля вождения на время заезда обусловило необходимость создания модели пилота с учетом угла атаки передних полозьев,

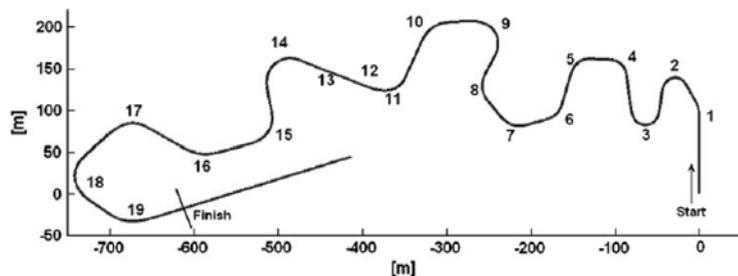


Рисунок 1. Вид сверху Олимпийской трассы в Чезана Париол

которая потребовала тщательного анализа всех видов физического воздействия пилота и разработки численного алгоритма, способного воспроизвести (или даже улучшить) все эти виды физического воздействия.

Решение данной проблемы выполнялось в два этапа, отражающих действия реальных пилотов: во-первых, выбор траектории, позволяющей минимизировать время заезда (называемой далее «оптимальная траектория»), при этом пилоты изучали данную траекторию методом проб и ошибок, после чего они были способны к движению по ней даже с закрытыми глазами.

Во-вторых, был определен осуществляемый пилотом подвод крутящего момента к управляемой передней оси (поворот управляемой оси), необходимый для максимально возможного следования оптимальной траектории (разработка контроллера).

Однако в то время как процесс обучения у реальных водителей зависит от их физиологических и психологических особенностей, что приводит к выбору разными водителями разных оптимальных для них траекторий, модель пилота позволяет определить общую оптимальную траекторию на основе математического описания как трассы, так и саней, без учета физиологических и психологических ограничений.

Экспериментальные испытания

Как уже упоминалось выше, экспериментальные испытания проводились на Олимпийской трассе в Чезана Париол. На рисунке 1 показан вид сверху данной трассы, которая состоит из 19 поворотов (11 левых и 8 правых поворотов) и имеет перепад высот 128 м, что позволяет бобслеистам достигать максимальных скоростей, превышающих 130 км/ч. Наклон трассы составляет в среднем около 9% при максимальном показателе 18%.

Эксперименты проводились с применением бобслейных саней олимпийского класса, которые были оснащены:

- одной инерциальной платформой для измерения продольного, поперечного и вертикального ускорения передней рамы, а также ее крена, шага и рыскания;
- одной инерциальной платформой для измерения продольного, поперечного и вертикального ускорения задней рамы, а также ее крена, тангажа и рыскания;

- одним оптическим прибором (DATRON) для измерения абсолютной скорости и угла бокового увода β , т.е. угла между продольной осью и вектором скорости, определяемом в центре тяжести саней (рис. 2);
- десятью потенциометрами для измерения поворота управляемой оси, относительной величины угла крена между передней и задней рамами и вертикальным перемещением, а также относительной величины тангажа полозьев относительно оси;
- четырьмя термопарами, фиксируемыми с внутренней стороны полозьев на расстоянии 0,5 мм от поверхности скольжения;
- двумя динамометрическими осями и четырьмя динамометрическими кронштейнами полозьев для измерения контактных сил между полозьями и льдом.

Все сигналы принимались при частоте дискретизации 100 Гц с применением регистратора данных Cobra Digitek Corse, снабженного фильтрами защиты от наложения спектров.

В качестве примера на рисунке 3 показано ускорение задней рамы боба, измеренное вдоль вертикальной бортовой оси в зависимости от пройденного расстояния. Для более эффективной визуализации последовательности поворотов, принимаемые сигналы фильтровались с применением низкочастотного фильтра Баттерворта 4-ого порядка с частотой среза 10 Гц.

При этом можно ясно видеть, что, несмотря на применение низкочастотного фильтра, на 17 и 18 поворотах величины ускорения свободного падения достигали более 4 g.

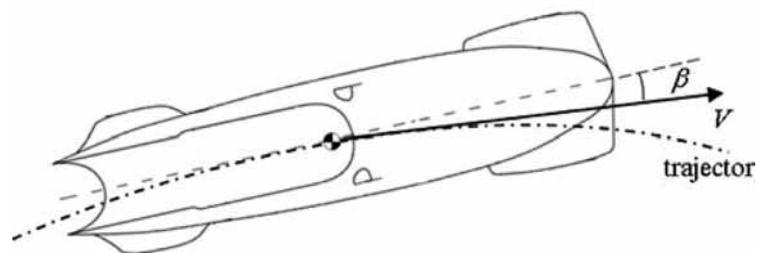


Рисунок 2. Схематическое изображение угла бокового увода (скольжения)

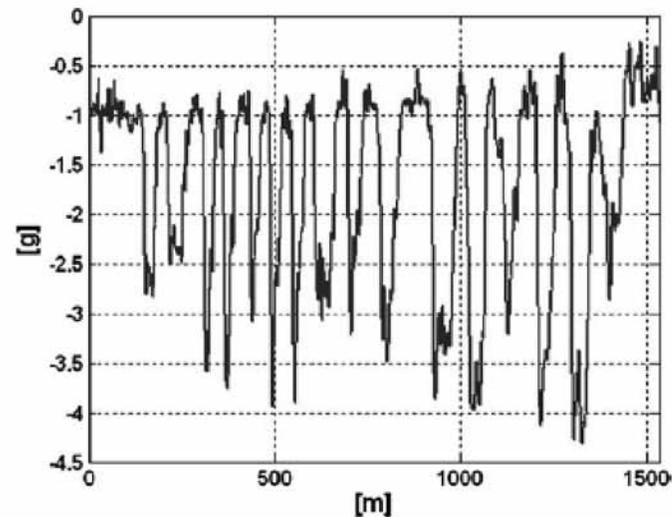


Рисунок 3. Результаты экспериментальных исследований: вертикальное ускорение задней рамы боба (данные бортового измерителя) при движении по Олимпийской трассе в Чезана Парриол

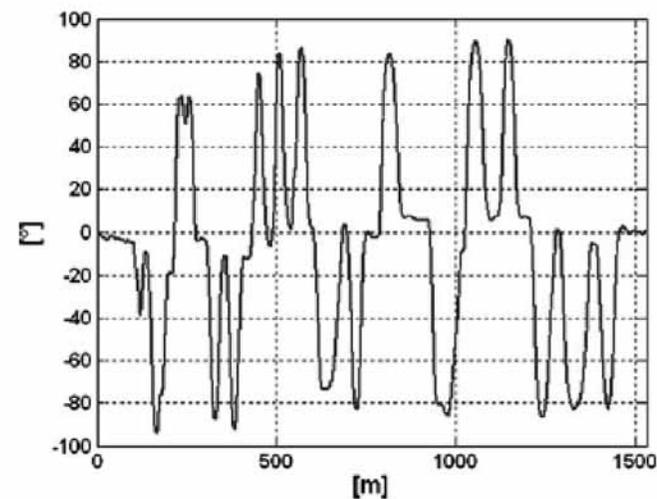


Рисунок 4. Результаты экспериментальных исследований: угол крена задней рамы боба при движении по Олимпийской трассе в Чезана Парриол [1]

Рисунок 4 показывает функциональную зависимость между углом крена, определенным посредством интегрирования сигналов интенсивности крена, и пройденным расстоянием. Как можно видеть на рисунке, на некоторых поворотах угол крена боба достигает величины порядка 90° , а на 2-ом повороте своей максимальной величины – 94° .

Трехмерная модель боба олимпийского класса

Как упоминалось ранее, по причине ограниченной воспроизводимости результатов полевые испытания могут применяться для тренинга пилота и окончательной настройки параметров бобслейных саней, но их вряд ли можно использовать для объективной оценки влияния определенных установочных параметров боба на общую результативность заезда.

Более эффективным инструментом для определения подобного воздействия служит численное моделирование. При этом рекомендуется использование многокомпонентного подхода, учитывающего характерную для трехмерных систем сложную нелинейную динамику, которая отличает движение боба по извилистой ледовой трассе [5–8]. Здесь также необходимо принимать в расчет взаимодействие с трассой полозьев и боковых демпферов, а также геометрию трассы. Поэтому математическая модель боба была подразделена на три подсистемы:

- Модель саней.
- Модель трассы.
- Модель контакта.

Полное описание модели дано в [1], здесь приводится только ее краткое описание.

Модель саней

На рисунке 5 показана основная схема многокомпонентной модели саней, созданной в среде Matlab/SimMechanics: на схеме представлено изображение девяти твердых тел, имеющих в целом 15 степеней свободы:

- шесть степеней свободы, обеспечивающих трёхмерное движение задней рамы;
- три степени свободы для обеспечения движения передней рамы относительно задней рамы

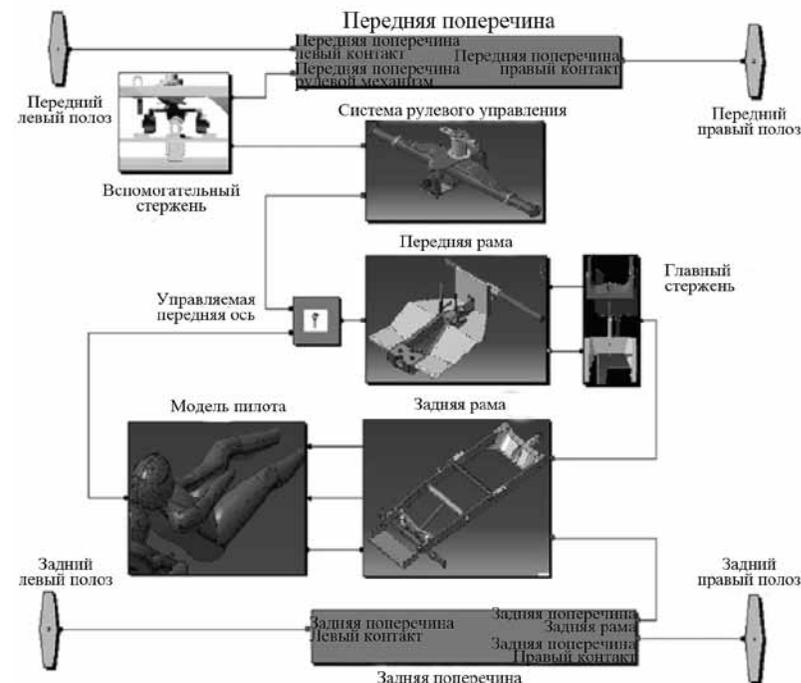


Рисунок 5. Схема «многокомпонентной модели» боба, созданной в программной среде Matlab/SimMechanics

- одна степень свободы для обеспечения поворота (угла поворота) системы рулевого управления относительно передней рамы;
- одна степень свободы для обеспечения относительного движения по крену передней оси относительно системы рулевого управления;
- четыре степени свободы для обеспечения вертикального перемещения полозьев относительно передней/задней оси.

Главный стержень благодаря присущей ему гибкости обеспечивает относительное движение по крену между передней и задней рамами, а также поперечное и вертикальное движение. В модели также

учитывается нелинейная характеристика боковой жесткости подвески в целях оценки влияния торсиона, вмонтированного внутрь цилиндрического соединения, и воспроизведения действия жестких упоров, ограничивающих относительный поворот при крене.

Кроме того, в модели учитывается боковая и вертикальная гибкость главного стержня, и в ходе экспериментальных испытаний определяются характеристики жесткости (около $3e5$ Н/м) и жесткости на кручение (по причине конфиденциальности точные данные не могут быть указаны).

Для характеристики относительного движения между передней рамой и системой рулевого управления применялось идеальное цилиндрическое соединение. При этом следует отметить, что наклон управляемой передней оси относительно направления вертикального движения представляет собой структурный параметр, который используется конструкторами саней для изменения параметров обратной связи с системой рулевого управления, а также нелинейности рулевого управления.

Модель пилота, подробно описываемая в следующем параграфе, оказывает непосредственное воздействие на данное соединение (осуществляет поворот управляемой передней оси и тем самым изменяет угол рыскания передних полозьев, что вызывает генерацию поперечной силы) при соответствующем изменении положения задней рамы (на которой расположено сидение пилота).

Еще одно цилиндрическое соединение использовалось для моделирования влияния вспомогательного стержня, который обеспечивает относительное движение по крену между системой рулевого управления и передней осью. В данной модели было также предусмотрено определение нелинейной жесткости при движении по крену в целях выявления воздействия торсиона и жестких упоров (отбойников).

Каждый полоз представлен схематически в виде твердого тела, связанного с соответствующей осью посредством призматического соединения, которое обеспечивает возможность относительного вертикального движения между полозом и осью.

В результате экспериментального анализа собственных частот колебаний при вертикальном движении и движении по тангажу в модель был также включен линейный элемент, эквивалентный пружинному демпферу.

Данный элемент воспроизводит упругую работу кронштейнов полозьев и характеристики демпфирования резиновых элементов, помещаемых между полозьями и кронштейнами.

При этом следует отметить, что в модели не учитывается относительное движение полозьев по тангажу относительно соответствующих осей. Объяснением этому служит тот факт, что контактная поверхность между полозьями и льдом считается расположенной точно под осью. Влияние перемещения контактной поверхности в переднем и заднем направлении учитывалось при разработке модели контакта.

Модель трассы

Техническое описание «номинальной» трассы с графиками ее важнейших участков, а также измерения геометрических параметров реальной трассы позволили получить трехмерную характеристику трассы [4].

Это описание осуществляется в два этапа: во-первых, определяется геометрическая ось (центровая линия) трассы (ГОТ) на основе последовательности точек n (расстояние между двумя последовательными точками вдоль криволинейной абсциссы ГОТ равно 0,5 м); во-вторых, с каждой точкой ГОТ связывается соответствующий поперечный участок трассы.

Следует отметить, что каждый участок описывается 60 точками и считается перпендикулярным ГОТ. При этом является очевидным, что число имеющихся в наличии участков (либо «номинальных», либо измеренных) гораздо меньше 3000. Таким образом, применялась билинейная интерполяция между примыкающими друг к другу участками.

Модель контакта

В целях описания динамики движения боба по заданной трассе необходимо разработать контактную модель, характеризующую взаимодействие между полозьями/боковыми демпферами и льдом [9].

Как уже отмечалось ранее, при разработке модели было принято предположение о существовании единичного контакта как для полозьев (в перпендикулярной плоскости под соответствующей осью), так и для демпферов (в центре демпферов).

Это означает, что в данной модели не учитываются множественные контакты, которые могут возникать в присутствии высоких номинальных нагрузок и/или на шероховатых ледовых поверхностях, по причине отсутствия экспериментальных данных и ограниченного количества литературных источников по данной теме [10–14]. Более того, в модели не учитываются распределение результирующих сил

давления на поверхность контакта (нормальной контактной силы) и напряжения сдвига (продольной и поперечной контактных сил).

Это означает, что при разработке модели игнорируется результирующий крутящий момент. Это второе предположение служит логическим завершением первого: если считать, что единичный контакт проявляется в перпендикулярной плоскости ниже оси и что контактная площадь имеет небольшие размеры, то можно сделать вывод, что возникающие при этом крутящие моменты рыскания, крена и тангажа имеют пренебрежимо малую величину.

Рассматривая контакт между полозом и льдом, для каждого шага интегрирования предполагается, что нормальная контактная сила F_z равна:

$$\begin{cases} F_z = k_1 \Delta z^2 + k_2 \Delta \dot{z}; & \Delta z > 0 \\ F_z = 0; & \Delta z \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

где Δz – проникновение полоза вовнутрь льда в перпендикулярном направлении, которое определяется посредством аналитической аппроксимации, основанной на представлении окружающей точку контакта поверхности трассы в виде квадратичной поверхности [1].

Значение параметра k_1 было рассчитано с применением анализа методом конечных элементов по отношению к полозу, оказывающему давление на поверхность льда ($k_1 = 4e^8 \text{ N/m}^2$, [10]), в то время как значение параметра k_2 было установлено на максимально низком уровне во избежание неустойчивости численного решения, связанного с внезапными вариациями нормальной контактной силы (100 Н/м).

После определения нормальной контактной силы рассчитывается продольная (направленная вдоль направления движения полоза) контактная сила F_x согласно следующему уравнению:

$$F_x = -\mu_x F_z \quad (2)$$

где μ_x – коэффициент трения при продольном скольжении полоза по льду (продольный коэффициент трения), который обычно проявляет функциональную зависимость как от нормальной силы, так и от скорости скольжения.

Испытания, проводимые на Олимпийской трассе в Чезана Париол, позволили рассчитать величину μ_x , которая составила приблизительно 0,05 ($\pm 0,01$). Более точные данные, характеризующие зависимость μ_x от нормальной силы и скорости скольжения, были получены в лабораторных условиях [4], но они не обеспечивали значимого улучшения по сравнению с данными моделирования.

Учитывая дополнительное сопротивление боковому заносу, которое создается бороздой, оставляемой полозом на поверхности льда, предполагается, что поперечная контактная сила будет равна:

$$F_y = \mu_y F_z \frac{2}{\pi} \operatorname{atan}(k_3 \alpha) \quad (3)$$

где α – угол увода (скольжения) рассматриваемого полоза, k_3 – коэффициент масштабирования (пересчета) ($k_3 = 50 \text{ рад}^{-1}$) и μ_y – коэффициент поперечного трения, который обычно также проявляет функциональную зависимость, как от нормальной силы, так и от скорости скольжения и имеет гораздо большую величину по сравнению с μ_x , в связи с чем он также может служить причиной геометрических искажений.

В связи с отсутствием специфических для данной области исследований экспериментальных данных и ограниченным количеством литературы, посвященной данной проблеме, μ_y определялся на основе полномасштабных экспериментальных испытаний, проводимых на Олимпийской трассе в Чезана Париол, при этом его величина составила 0,5 [1].

При рассмотрении контакта между демпферами и льдом нормальная и продольная контактные силы рассчитывались согласно уравнениям 1 и 2. В свою очередь, поскольку угол увода бампера равен нулю, считается, что поперечная контактная сила также равна нулю.

Разработка модели пилота

Как хорошо известно, боб не способен двигаться по всей трассе при отсутствии рулевого управления (он либо кренится, либо разворачивается поперек, либо даже выскакивает за пределы трассы). Поэтому присутствие пилота является обязательным. То же самое относится к численной модели боба. Для того чтобы оценить влияние изменения параметров на результативность саней, необходимо разработать реалистическую численную модель пилота.

Как уже упоминалось ранее, при разработке модели пилота преследовались следующие цели:

1. Определение траектории, позволяющей достигать минимального времени заезда.
2. Обеспечение как можно более точного следования данной траектории посредством воздействия на управляемую переднюю ось.

Поэтому процесс разработки модели пилота была подразделен на две фазы: *планирование траектории и выбор оптимальной стратегии управления санями*. Следует отметить, что фаза планирования траектории предусматривает движение по всей трассе, а не только по отдельным ее поворотам в целях гарантирования полного охвата траектории.

Планирование траектории

Траектория, которая обеспечивает достижение минимального времени на финише, должна представлять собой компромисс между траекторией, требующей минимального рулевого управления, и траекторией, отличающейся наименьшей протяженностью. Таким образом, планирование траектории представляет собой решение ограниченной задачи, для которого требуется определение двух различных траекторий

Траектория, которая требует минимального рулевого управления (далее называемая «**оптимальная линия 1**»), определяется как последовательность точек n (по одной точке на каждый участок трассы), на которую действует минимальная поперечная контактная сила, представляющая собой разность между центробежной силой и силой тяжести, спроецированными на касательную плоскость. В то же время кратчайшая траектория (обозначаемая далее как «**оптимальная линия 2**») обеспечивает преимущество, связанное с сокращением преодолеваемого бобом расстояния.

В целях упрощения численного метода, применяемого для определения оптимальной линии 1, было принято предположение, что вектор скорости находится в горизонтальной плоскости.

На рисунке 7 показаны силы, действующие на точечную массу в плоскости $y-z$, т.е. в плоскости, которая содержит участок i^{th} . Если предположить присутствие квазистационарных условий, поперечная контактная сила $F_{n,i}$ равна разности между центробежной силой и силой тяжести, спроецированными на касательную контактную плоскость.

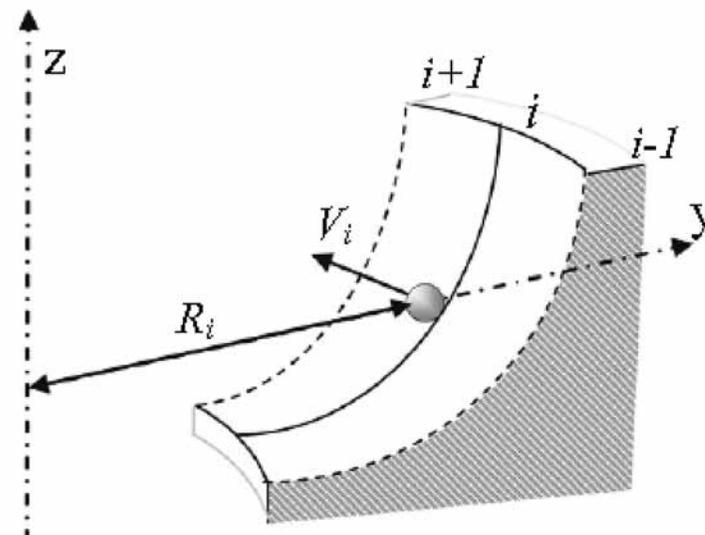


Рисунок 6. Расстояние R_i между точечной массой (бобом) и осью z , вертикальной к кривизне поворота на участке i

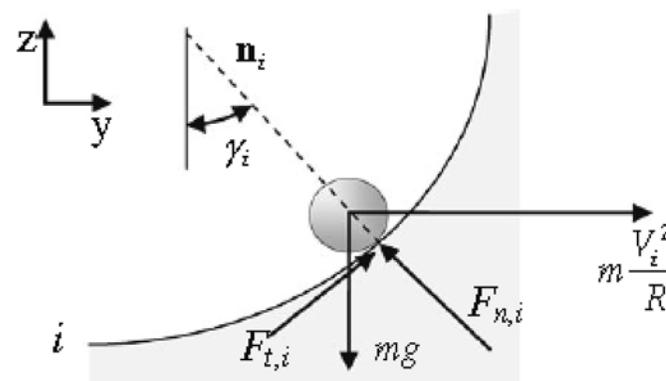


Рисунок 7. Схематическое изображение сил, действующих на точечную массу (боб) при движении по оптимальной линии 1

Здесь возникает возможность минимизации рассеяния энергии при боковом скольжении путем минимизации поперечной контактной силы:

$$\min_{P_{ij}} (F_{t,i}) = \min_{P_{ij}} \left[mg \sin \gamma_i - m \frac{V_i^2}{R} \cos \gamma_i \right] \quad (4)$$

где: m – общая масса боба, V_i – скорость саней на участке i^{th} , γ_i – наклон касательной контактной плоскости по отношению к горизонтальной оси и P_{ij} – точки участка.

Следует отметить, что данный подход может применяться только для участков трассы, на которых величина кривизны геометрической оси трассы не равна нулю. Для прямых отрезков трассы в качестве оптимальной линии используется геометрическая ось трассы.

Для решения уравнения 4 необходимо определить скорость саней на участке i^{th} . Скорость точечной массы на участке i^{th} рассчитывается с помощью простого уравнения энергетического баланса:

$$\frac{1}{2} m (V_i^2 - V_{i-1}^2) = mg(h_{i-1} - h_i) - \left[\mu_x \left(\frac{F_{n,i-1} + F_{n,i}}{2} \right) + \frac{1}{2} \rho C_d A \left(\frac{V_{i-1} + V_i}{2} \right)^2 \right] \Delta s_i \quad (5)$$

Где h_i – высота оптимальной линии на участке i , $F_{n,i}$ – нормальная контактная сила, Δs_i – расстояние между точками P_{ij} и $P_{i-1,j}$, C_d – коэффициент аэродинамического сопротивления боба (учитывается влияние аэродинамического сопротивления), A – площадь поперечного сектора саней и ρ – плотность воздуха.

Следует отметить, что в данном уравнении не учитывается рассеивание энергии, вызываемое поперечным скольжением, поскольку считается, что величина поперечной контактной силы близка к нулю.

Кроме того, для определения количества энергии, рассеиваемой при переходе от одного участка к другому, применялись средние величины продольных сил трения и сил аэродинамического сопротивления на участках $i-1$ и i .

Согласно уравнению 5 скорость V_i рассчитывается на основе состояния (скорость и положение) точечной массы на предыдущем участке и ее положения на участке i .

Таким образом, выполняется многократное решение уравнений 4 и 5 вплоть до достижения конвергенции.

Напротив, при определении оптимальной линии 2 поперечные контактные силы не минимизируются, а используются для «направления» саней по самой короткой траектории, что позволяет сократить количество энергии, рассеиваемой в результате действия продольных контактных сил.

Это особенно актуально при заходах на виражи: как только величина угла кривизны становится больше нуля, увеличивается угол крена саней, а вместе с тем удлиняется траектория движения боба, который вынужден «набирать высоту», в то время как согласно стратегии выбора кратчайшей траектории движения сани должны придерживаться ГОТ.

Как и при реализации предыдущей стратегии применялось схематическое изображение боба в виде точечной массы, и его движение было интегрировано во временной домен.

Положение точечной массы в пространстве определялось с помощью вектора xG , компоненты которого были выражены в глобальной системе координат $x-y-z$.

На этапе универсальной интеграции поверхность трассы вокруг xG , описываемая рядом изолированных точек, была аппроксимирована посредством касательной контактной плоскости τ , как показано на рис. 8.

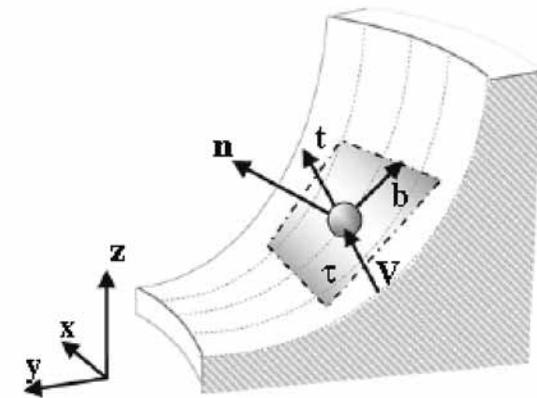


Рисунок 8. Глобальная ($x-y-z$) и локальная ($t-n-b$) системы координат

Таким образом, был определен единичный вектор n , перпендикулярный контактной поверхности.

При этом было принято предположение, что движение точечной массы происходит в плоскости s . Это позволило определить второй единичный вектор t , перпендикулярный вектору n и расположенный на касательной к траектории плоскости, то есть параллельно вектору скорости V .

На конечном этапе был построен бинормальный вектор b , равный произведению векторов t и n . При этом применялась следующая матрица поворота $[K]$, которая позволяет выразить вектор в соответствии с системой координат, идентифицированной посредством векторов $t-n-b$:

$$[K] = \begin{bmatrix} t_x & t_y & t_z \\ n_x & n_x & n_x \\ b_x & b_y & b_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Данные ряды $[K]$ задаются тремя компонентами единичных векторов t , n и b , выраженными в глобальной системе координат. Следовательно, уравнения движения точечной массы, выраженной в глобальной системе координат, могут быть записаны с применением следующей формы матрицы:

$$m \begin{Bmatrix} \ddot{x}_G \\ \ddot{y}_G \\ \ddot{z}_G \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{Bmatrix} + [K]^T \begin{Bmatrix} -\mu_x F_n - \frac{1}{2} \rho A C_d V^2 \\ F_n \\ \eta \mu_y F_n \end{Bmatrix} \quad (7)$$

При этом на точечную массу оказывают воздействие следующие силы: сила тяжести — mg (направленная вдоль глобальной вертикальной оси z), контактные силы (силы, действующие в направлении по касательной, а также в нормальном /перпендикулярном/ и бинормальном направлениях) и аэродинамическое сопротивление (определяемое также в локальной системе координат).

Для перевода сил, выраженных в локальной системе координат, в глобальную систему координат применяется матрица проектирования $[\eta]T$.

Нормальная контактная сила F_n рассчитывается с применением подхода, аналогичного тому, который был использован в многофункциональной модели боба: с помощью аппроксимации контактной поверхности посредством касательной контактной плоскости можно определить проникновение точечной массы вглубь поверхности льда

вдоль направления n и рассчитать нормальную контактную силу согласно уравнению (1).

В отношении бинормальной (поперечной) контактной силы применяется коэффициент пересчёта (масштабирования) η в целях расчета количества поперечной силы ($\mu_y F_n$), затраченной на изменение траектории (η — линейная функция заданного угла поворота, ограничиваемая пределами $[-1, 1]$; при этом коэффициент η , равный 1, соответствует максимально допустимому углу поворота по часовой стрелке, в то время как коэффициент η , равный -1, соответствует максимально допустимому углу поворота против часовой стрелки). Величина коэффициента пересчета η варьирует в зависимости от трассы и определяется посредством алгоритма оптимизации, применяемого в целях минимизации времени заезда.

Для ограничения количества оптимизируемых переменных (величина коэффициента пересчета η на каждом участке трассы) значение принимается за ноль на прямых участках трассы и описывается с применением аналитической функции на поворотах.

Таким образом, параметры такого рода аналитических функций выступают в роли оптимизируемых переменных. Как показано на рис. 9 вдоль каждого поворота ГОТ, включая его участки на входе и выходе, было идентифицировано пять узловых точек $S0, S1, \dots, S4$. Следовательно, каждый поворот подразделяется на пять сегментов.

При этом точки $S0$ и $S4$ устанавливаются в начале и конце поворота, а точка $S2$ — в его центре. Точки $S1$ и $S3$ располагаются на первой и второй половинах поворота, и их положение определяется в процессе оптимизации (значения первых двух оптимизируемых переменных).

Для обеспечения непрерывности функции коэффициент η считается равным нулю в точках $S0$ и $S4$, в то время как коэффициенты η_1, η_2 и η_3 определяются в ходе выполнения процедуры оптимизации (три дополнительные оптимизируемые переменные).

Величина коэффициента η вдоль каждого сегмента поворота (необходимая для определения поперечной контактной силы на каждом участке трассы и решения уравнений движения (7) для расчета времени заезда) определяется с применением кусочно-полиномиальной аппроксимации (т.е. кубических сплайнов), которая позволяет осуществлять интерполяцию пяти вышеупомянутых узловых точек.

При этом следует отметить, что данный метод предусматривает применение только пяти оптимизируемых переменных $S1, S3, \eta_1, \eta_2$

и η_3 для каждого поворота, что составляет в сумме 95 оптимизируемых переменных для всей Олимпийской трассы в Чезана Париол.

Определение этих 95 переменных осуществляется одновременно, а не в порядке очередности, поскольку существует предположение, что поперечная контактная сила колеблется в соответствии с аналитической функцией (кусочно-полиномиальной функцией) на протяжении поворота, начиная от нулевой величины на входе в поворот и заканчивая нулевой величиной на выходе из поворота. Точки входа в поворот и выхода из поворота считаются идентичными соответствующим геометрическим точкам. Включение в оптимизируемые переменные также точек S_0 и S_4 привело бы к получению 133 оптимизируемых переменных для всей Олимпийской трассы в Чезана Париол, но в конечном итоге это позволило бы повысить эффективность идентификации траектории.

Форма функции, представленной на рис. 9, дает нам информацию о стиле вождения, применяемом во время выполнения процедуры оптимизации: при входе в поворот величина коэффициента η возрастает и достигает величины η_1 , что означает, что пилот управляет санями, вводя их в поворот; затем величина коэффициента η поддерживается почти на постоянном уровне, что указывает на то, что пилот управляет санями, сохраняя постоянный угол атаки передних полозьев; и наконец, при выходе из поворота давление пилота на управляемую переднюю ось боба ослабевает.

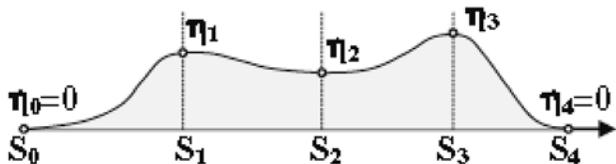


Рисунок 9. Вариация коэффициента пересчета η в пределах поворота трассы

При этом следует отметить, что длина участка на входе в поворот (при прохождении которого коэффициент η увеличивается) обычно превышает длину участка на выходе из поворота (при прохождении которого коэффициент η уменьшается).

На рисунке 10 показаны результаты сравнения оптимальных линий на 14-ом повороте Олимпийской трассы в Чезана Париол.

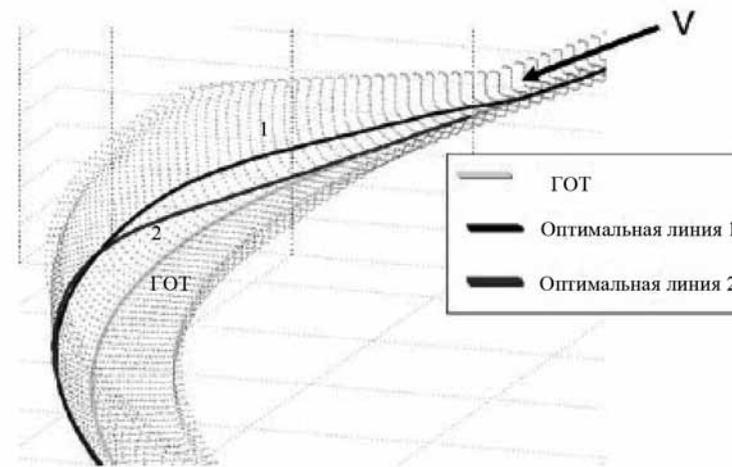


Рисунок 10. Сравнение эталонных траекторий, полученных с применением предлагаемых стратегий

Как можно видеть, данные две траектории отличаются большим сходством при выполнении полного поворота, когда достигается устойчивое состояние, но важные различия можно наблюдать во время входа в поворот и выхода из поворота.

В частности, в результате применения метода, лежащего в основе получения оптимальной линии 1, происходит резкое увеличение угла крена боба по мере увеличения кривизны трассы.

Напротив, при применении стратегии построения оптимальной линии 2 полученная траектория при переходе к поворотам более близка к ГОТ, постепенно достигая совпадения с данной «режимной» траекторией.

Очевидно, выбор первой или второй оптимальной линии будет оказывать влияние на общее время заезда. Однако в связи с тем, что целью данной работы является построение модели пилота, воспроизводящей его реальное поведение во время заезда, данный аспект не принимался в расчет при проведении настоящего исследования.

Разработка контроллера (модель пилота)

После выявления оптимальной траектории следующий этап работы заключался в разработке контроллера, оказывающего воздействие на переднюю управляемую ось в целях осуществления контроля следования боба по заданной траектории.

При этом следует отметить, что, в то время как оптимальные линии 1 и 2 определяются посредством упрощенного динамического анализа (в отношении точечной массы), контроллер воздействует на «многочастичную модель» боба, регулируя влияние деятельности по управлению на траекторию движения саней.

При разработке контроллера за основу принимались результаты, полученные в ходе экспериментальных испытаний. Для этой цели было проведено исследование корреляции между углом поворота управляемых полозьев и рядом важных кинематических параметров.

На рисунке 11 показано изменение во времени угла поворота, которое совпадало с изменением угла крена (рассчитанного посредством интеграции данных измерений угловой скорости крена).

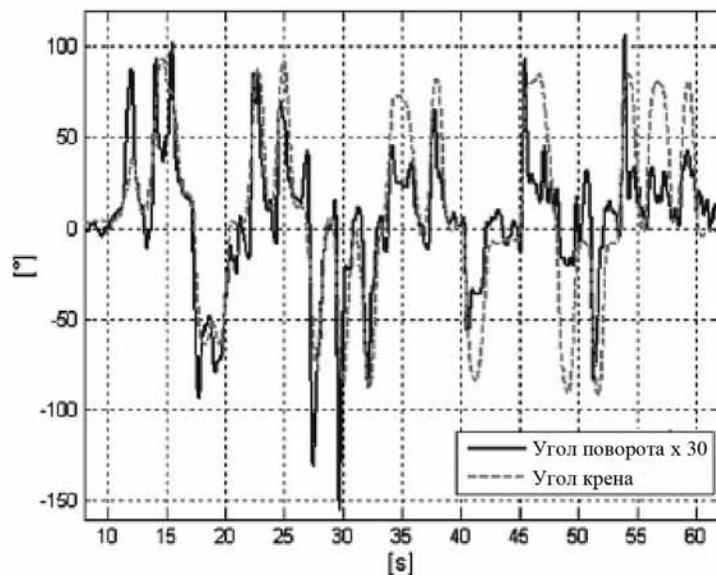


Рисунок 11. Экспериментальные результаты: изменение во времени углов крена и поворота

Несмотря на тот факт, что пиковые величины углов поворота и крена достигались практически одновременно, на рисунке 11 можно четко видеть слабую корреляцию между двумя этими параметрами.

Более того, причиной выявленной синхронизации между сигналами служит геометрия трассы: в начале входа в поворот пилот резко увеличивает угол поворота и под действием возникающей при этом центробежной силы увеличивается также и угол крена.

На рисунке 11 также показано, что максимальная (абсолютная) величина угла крена достигается с почти постоянной задержкой во времени по отношению к соответствующей пиковой величине угла поворота ($\approx 0,1$ с) и что резкое увеличение угла поворота всегда можно предвидеть, наблюдая более медленное возрастание угла крена (рис. 12).

Подобная тенденция была выявлена при исследовании почти всех кривых, как показано в таблице 1. Только повороты 12 и 13 имеют очень большой радиус (≈ 1000 м) и характеризуются отсутствием угла крена.

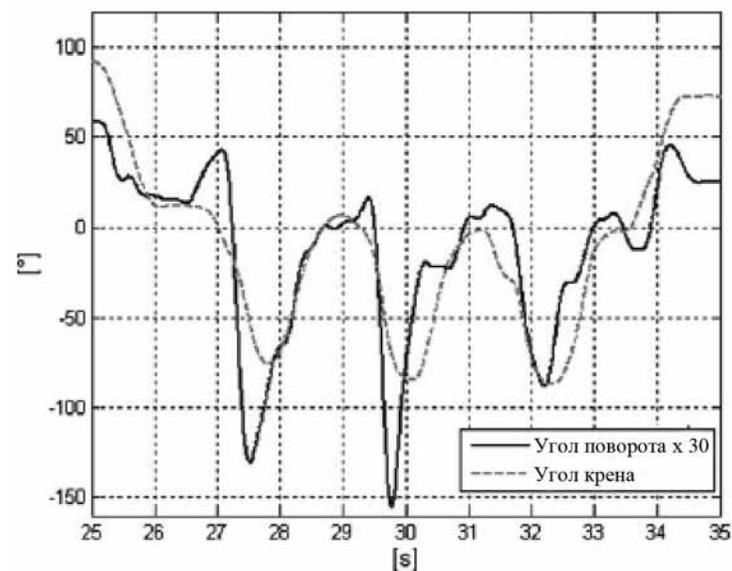


Рисунок 12. Экспериментальные результаты: изменение во времени углов крена и поворота при выполнении 6, 7 и 8 поворотов

Таблица 1. Экспериментальные результаты: интервал времени (задержка) между достижением пиковых величин угла поворота и угла крена

Поворот	ΔT между углами поворота и крена
1	0,06
2	0,28
3	-0,09
4	0,45
5	0,37
6	0,08
7	0,45
8	0,6
9	0,32
10	0,48
11	0,28
12	
13	
14	0,22
15	0,20
16	-0,10
17	0,22
18	0,26
19	0,17

Кроме того, было проведено исследование корреляции между углом поворота и углом бокового увода центра тяжести саней β (рис. 2), измеренным с помощью датчика DATRON (рис. 13).

В процессе исследования была выявлена достаточно слабая общая корреляция между этими параметрами. Более того, амплитуда угла бокового увода, очевидно, не проявляет взаимосвязи с амплитудой угла поворота за исключением небольших участков трассы, показанных на рис. 14а (что может быть объяснено прямой траекторией

движения между 3 и 4 поворотами), а также на рис. 14б, на котором можно видеть состояние исследуемых переменных между 8 и 9 поворотами.

Во всех этих случаях достижение пиковой величины угла бокового увода служит индикатором увеличения угла поворота, что свидетельствует о том, что соответствующее действие pilota является следствием бокового (поперечного) скольжения (с задержкой во времени примерно 0,1 с).

В ходе исследования возможных проявлений корреляции между углом поворота и кинематическими параметрами больше не было получено других значимых результатов кроме как для скорости рыскания: изменения угла поворота и скорости рыскания происходят практически одновременно, что служит указанием на то, что изменение угла поворота не может быть реакцией на изменение скорости рыскания.

Суммируя результаты анализа применяемого пилотом стиля вождения, можно сделать вывод, что угол крена выполняет функцию спускового крючка и что пилот реагирует на угол бокового увода во время прохождения прямых участков трассы при боковых заносах или при выходе из поворота.

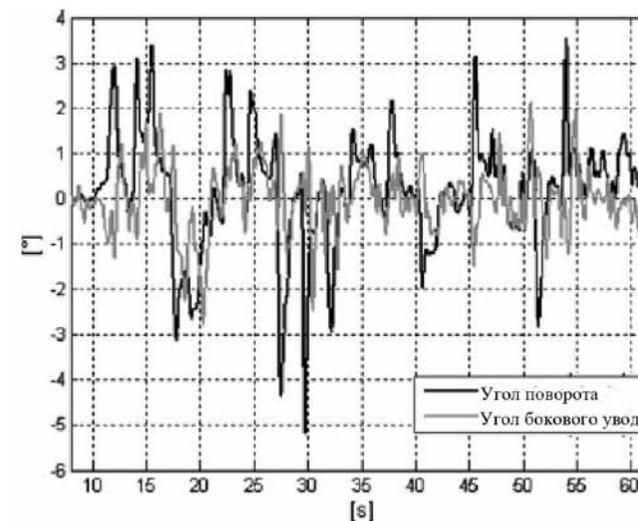


Рисунок 13. Экспериментальные результаты: изменение во времени углов бокового увода и поворота

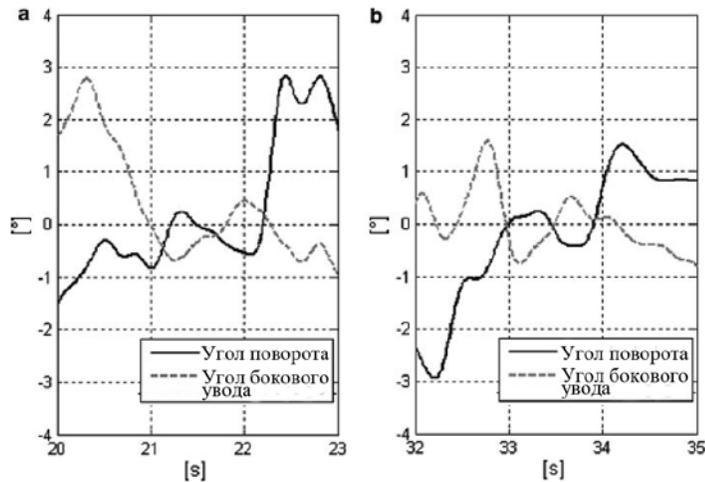


Рисунок 14. Экспериментальные результаты: представленное в увеличенном масштабе изменение во времени углов бокового увода и поворота при выполнении поворотов 3–4 (а) и 8–9 (б)

Наряду с данным механизмом обратной связи, в основе которого лежит динамическая реакция болида, стиль вождения, очевидно, базируется главным образом на прямой связи: действия, оказываемые пилотом на переднюю ось в процессе управления санями, предопределены его опытом, приобретенным во время предыдущих заездов.

Выполненный анализ позволяет разработать контроллер (модель пилота), способный имитировать стиль вождения реального пилота: управляющее воздействие d представляет собой сумму двух действий: **первое** из них связано со следованием по заданной траектории (δt , которое воспроизводит действие пилота по осуществлению прямой связи) и **второе** действие связано с нейтрализацией угла бокового увода (δs , которое воспроизводит действие пилота с обратной связью).

На рис. 15 показана схема предлагаемой модели пилота (контроллера). Параметры и преимущества, достигаемые при применении данного контроллера, были определены путем выполнения ряда экспериментов по моделированию, цель которых состояла в воспроизведении реального стиля вождения (данная стадия носит название «стадия обучения»).

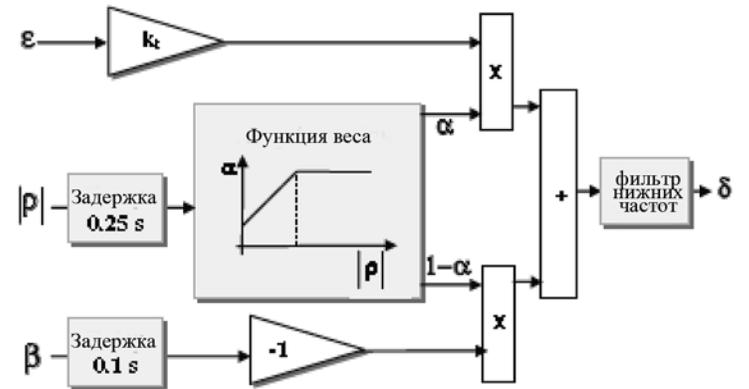


Рисунок 15. Схема предлагаемой модели пилота (контроллера)

В основе действия по следованию заданной траектории лежит разница между желаемой (эталонной) и фактической траекториями движения боба.

Как показано на рис. 16 эта разница определяется с применением двух точек – P_r на оптимальной линии и P на продольной оси боба (обозначаемой X_L) на расстоянии 10 м перед центром тяжести саней (обозначаемым буквой G). Угловое отклонение ϵ между желаемым положением и фактическим направлением движения боба служит количественным показателем ошибки в траектории.

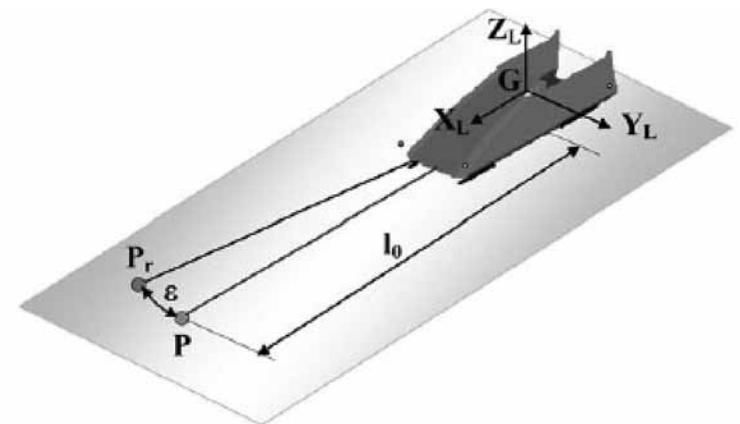


Рисунок 16. Угловое отклонение ϵ по отношению к эталонной траектории

При этом следует отметить, что расчет данной ошибки производится для точки, находящейся на расстоянии 10 метров впереди центра тяжести, в целях учета предвидения изменений трассы (как это характерно для реального пилота).

Расстояние 10 м обозначается как «визуальное расстояние» и считается функцией скорости боба V :

$$l_0 = t_0 V \quad (8)$$

Где t_0 – постоянный интервал времени, который должен быть определен во время стадии обучения пользования контроллером. Согласно уравнению (8) визуальное расстояние возрастает вместе со скоростью болида.

Это согласуется с известным фактом, что при высоких скоростях для удержания боба на трассе необходимы более длинные визуальные расстояния.

Действие следования заданной траектории при определении угла поворота (контрольного действия) может быть выражено в виде следующего уравнения:

$$\delta_t = k_t \varepsilon \quad (9)$$

где k_t – коэффициент усиления действия простого пропорционального контроллера по отношению к скорости реакции пилота. Как и t_0 , k_t определяется во время стадии обучения.

Действие по нейтрализации угла бокового увода δ_s направлено на сведение к нулю бокового скольжения (заноса) бобслейных саней. Согласно анализу стиля вождения амплитуда угла поворота соответствует амплитуде угла бокового увода. Отсюда:

$$\delta_s = -\beta(t - 0.1) \quad (10)$$

где β – угол бокового увода центра тяжести, рассчитываемого за 0,1 с до фактического времени моделирования.

Данная задержка времени, введенная в уравнение (10), отражает быстроту реакции пилота. В частности, величина 0,1с представляет собой среднюю задержку во времени между достижением пиковых значений углов бокового увода и поворота (рис. 14).

Весовое отношение двух действий δ_t и δ_s , составляющих управляющее воздействие δ , оценивается согласно величине угла крена ρ , при этом наблюдается линейное увеличение весового коэффициента

от 0,3 до 0,7 при величинах угла поворота ниже 10° , после чего его величина остается постоянной при более высоких углах поворота.

Следовательно, при прохождении прямых участков трассы, на которых величина угла поворота близка к нулю, действие по нейтрализации угла бокового увода имеет более высокий вес по сравнению с действием по следованию заданной траектории.

Таким образом, можно контролировать боковое отклонение, которое может возникать по причине ошибок вождения при выходе из поворота или в результате ударов о боковые стенки.

Напротив, при входе в поворот угол крена увеличивается, и здесь начинает преобладать действие по следованию заданной траектории. Согласно выполненному анализу стиля вождения задержка в увеличении угла крена, то есть средняя величина задержки между увеличением угла крена и последующим увеличением угла поворота, составляет 0,25 с.

Таким образом, даже при учете ошибки в траектории по сравнению с эталонной траекторией выполнение действия δ_t будет эффективным только при достижении определенной величины угла крена («эффект спускового крючка»).

При этом следует отметить, что поскольку весовой коэффициент для этих двух действий колеблется в пределах от 0,3 до 0,7, оба они присутствуют на всех участках трассы. Более того, данная весовая функция обладает двойным преимуществом: наряду с воспроизведением поведения пилота в процессе управления бобслейными санями, она сглаживает тенденцию слишком резкого входа в поворот благодаря включению в схему контроллера визуального расстояния, равного 10 метрам.

После определения управляющего воздействия δ перед тем, как перейти к модели боба, оно фильтруется на низкочастотном фильтре Баттерворта 4-ого порядка с предельной частотой 3 Гц в целях достижения ширины полосы частот, равной той, которая была измерена экспериментальным путем.

Сравнение с экспериментальными данными

Чтобы оценить эффективность предлагаемой модели пилота, результаты ее применения как для оптимальной линии 1 (траектория с минимальным управлением), так и для оптимальной линии 2 (наиболее короткая траектория) были сопоставлены с результатами экспериментальных измерений угла поворота (рис.17, 18).

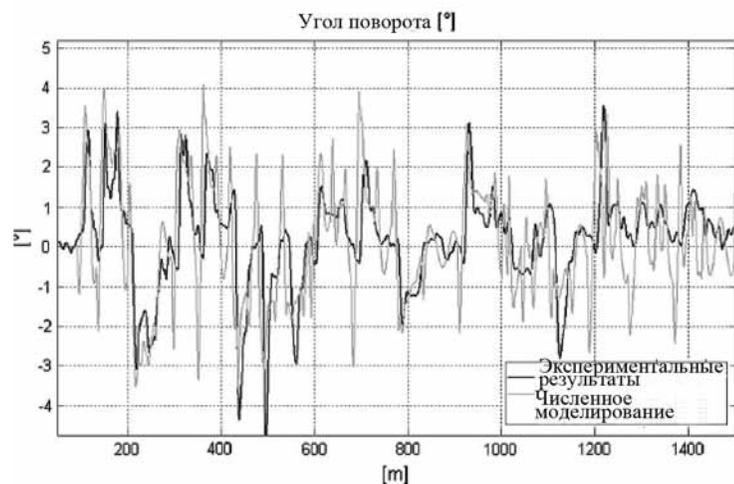


Рисунок 17. Сравнение углов поворота, полученных с применением численного моделирования и измеренных экспериментальным путем (оптимальная линия 1)

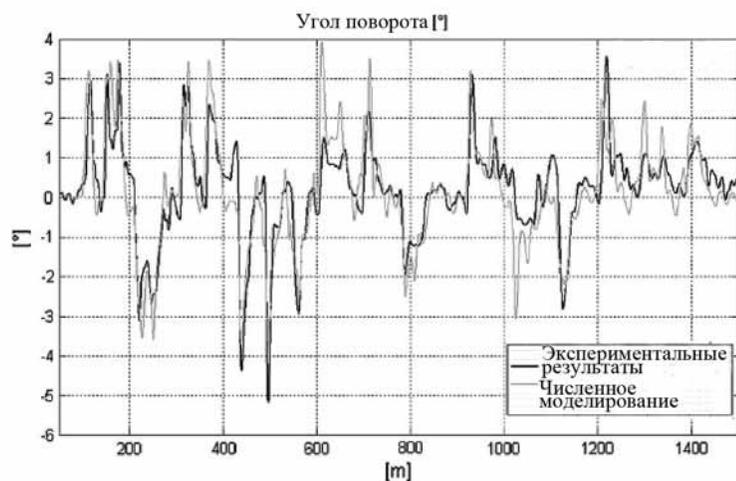


Рисунок 18. Сравнение углов поворота, полученных с применением численного моделирования и измеренных экспериментальным путем (оптимальная линия 2)

При движении по оптимальной линии 1, даже несмотря на одинаковые величины угла поворота, каждый раз при входе в поворот контроллер поворачивает управляемую переднюю ось по направлению к наружной стороне поворота, чтобы мгновенно увеличить угол крена.

Действительно, как показано на рис. 10, данная эталонная траектория характеризуется резким увеличением угла крена при увеличении кривизны трассы.

Это явление не наблюдается в ходе проведения экспериментов. Таким образом, оптимальная линия 1 очевидно не является траекторией, выбираемой реальными пилотами, по крайней мере, при переходе от прямолинейных участков к виражам. Как только достигается желаемый угол крена, контроллер поворачивает управляемую переднюю ось по направлению к внутренней стороне поворота, как это делает реальный пилот во время прохождения виража.

При движении по оптимальной линии 2 сигналы, поступающие в результате изменения углов крена и поворота, гораздо более близки друг к другу как по величине, так и по форме: при этом угол поворота всегда направлен по направлению к внутренней стороне, тем самым точно воспроизводя реакцию реального пилота.

Следует отметить, что на поворотах 9 и 15 была зарегистрирована завышенная оценка амплитуды поворота.

Дальнейший анализ эффективности применения компьютерной модели пилота выполнялся путем исследования различий между прогнозируемыми и измеренными экспериментальным путем величинами углов крена (рис. 19): можно видеть, что оптимальная линия 1 (траектория с минимальным управлением), по которой следовала компьютерная модель пилота, достаточно сильно отличается от реальной траектории за исключением 9, 15 и 17 поворотов.

Действительно, моделируемый угол крена обычно имел меньшую величину (максимальная разница 23° на 8-ом повороте) по сравнению с измеренным экспериментальным путем, и его величина при входе в поворот увеличивалась несколько быстрее.

Для оптимальной линии 2 (наиболее короткая траектория) различия между полученными посредством моделирования и измеренными экспериментальным путем величинами углов крена были менее значительными (рис. 20): занижение величины угла крена еще присутствует, но в меньших пределах (максимальная разница 19° на 8 повороте), и наклон моделируемого угла крена при входе и выходе из виража более близок к наклону угла крена, измеренного в ходе экспериментов.

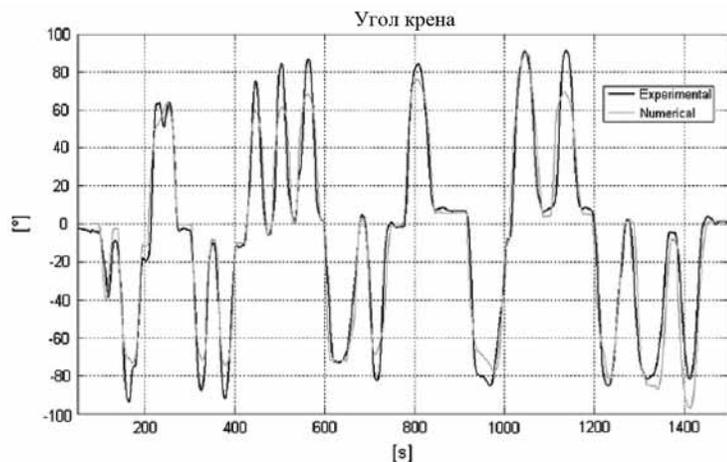


Рисунок 19. Сравнение углов крена, полученных с применением численного моделирования и измеренных экспериментальным путем (оптимальная линия 1)

Таким образом, оптимальная линия 2 (наиболее короткая траектория движения по трассе), очевидно, представляет собой оптимальную траекторию, более близкую к траектории, которой следуют реальные пилоты: при сравнении как углов поворота, так и углов крена были зарегистрированы меньшие различия между результатами моделирования и экспериментальных измерений, полученными для наиболее короткой траектории по сравнению с траекторией с минимальным управлением.

Это находит также подтверждение во времени заезда: при следовании по оптимальной линии 2 время заезда было улучшено почти на 0,2 с по сравнению с оптимальной линией 1.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о важной роли применяемого пилотом стиля вождения на переходных участках трассы, в частности, во время входа в поворот.

Наблюдаемые различия между результатами моделирования и экспериментальных измерений могут объясняться неточностями определения параметров контакта, например, коэффициента поперечного трения, и их зависимостью от температуры льда/полозьев, распределения давления, угла увода и т.п.

Даже несмотря на существование потенциала дальнейшего совершенствования, предлагаемая модель, очевидно, может быть исполь-

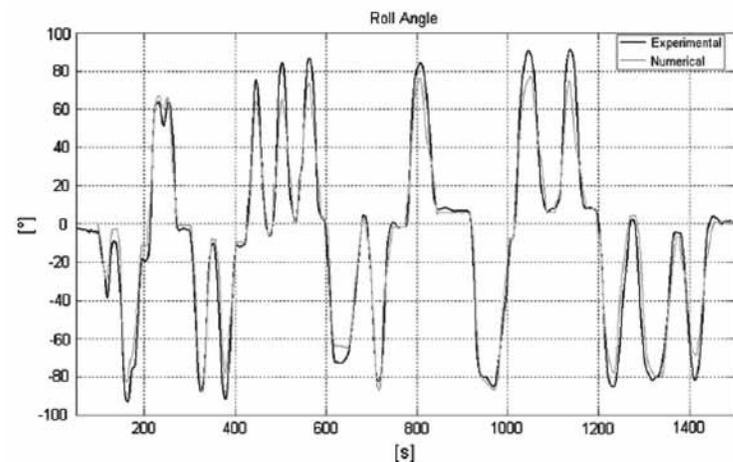


Рисунок 20. Сравнение углов крена, полученных с применением численного моделирования и измеренных экспериментальным путем (оптимальная линия 2)

зована для выполнения численного исследования влияния параметров структуры боба на результативность и разработку рекомендаций пилотам по применению оптимальных траекторий движения по заданной трассе в целях увеличения результативности (минимизации времени заезда), а также для испытания новых трасс уже на стадии проектирования.

Заключительные замечания

Мотивацией для выполнения работы, описанной в данной статье, послужила необходимость объективного анализа влияния структурных параметров бобслейных саней олимпийского класса на результативность заезда.

В связи с высоким разбросом результатов экспериментов (по причине ошибок пилота, вариаций в трении между полозьями и льдом, изменений поверхности трассы и т.п.) компьютерная модель, главные ограничения которой связаны в основном со схематизацией трения льда, представляет собой наиболее эффективное средство определения влияния различных структурных параметров боба на результативность.

Принимая во внимание важную роль пилота, в процессе моделирования многосоставная модель бобслейных саней должна быть объединена с реалистической моделью пилота, способной воспроизводить особенности поведения реальных пилотов.

Созданная модель пилота предназначена для решения двух задач: с ее помощью можно определить траекторию, позволяющую минимизировать время заезда, и затем следовать ей с максимальной возможной точностью, управляя передней осью боба.

Были выявлены две «оптимальные» траектории: одна из них позволяет свести до минимума применение поперечных контактных сил при движении на повороте путем уравнивания компонентов центробежной силы и силы тяжести, спроецированных на касательную контактную плоскость (оптимальная линия 1), в то время как другая обеспечивает преодоление наиболее короткой дистанции (оптимальная линия 2).

Для решения задачи максимально точного следования заданной траектории был разработан специальный контроллер (модель пилота), позволяющий имитировать стиль вождения реальных водителей, оценка которого выполнялась на основе экспериментальных данных, полученных на Олимпийской трассе в Чезана Париол, включая данные о задержках в приведении в действие системы рулевого управления и физических ограничениях.

Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных в отношении углов поворота и крена четко продемонстрировало, что предлагаемая модель пилота для движения по наиболее короткой траектории способна обеспечивать достаточно удовлетворительные результаты по воспроизведению поведения реальных пилотов.

Разработанная модель, очевидно, может быть использована для выполнения численного исследования влияния параметров структуры боба на результативность и разработку рекомендаций пилотам по применению оптимальных траекторий движения по заданной трассе в целях увеличения результативности (минимизации времени заезда), а также для испытания новых трасс уже на стадии проектирования.

1. Cheli F, Braghin F, Donzelli M, Melzi S, Sabbioni E (2011) Multi-body model of a bobsleigh: comparison with experimental data. *Multibody Syst Dyn* 25:185–201. doi:10.1007/s11044-010-9218-7.
2. Gran RJ (2007) Numerical computing with simulink, Volume 1: Creating simulations. SIAM (Society of Industrial and Applied Mathematics). Philadelphia, PA.
3. Braghin F, Cheli F, Melzi S, Sabbioni E (2010) Design and Verification of Bobsleigh Track. In: Proceedings of ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA 2010), Istanbul, Turkey.
4. Braghin F, Cheli F, Melzi S, Sabbioni E (2009) An heuristic skate—ice contact model obtained through finite element simulations. In: Proceedings of the 2nd European conference on Tribology (ECOTRIB 2009), Pisa, Italy.
5. Brender MY (1995) A bobsled dynamic model and its experimental validation. Dissertation, University of California, Davis.
6. Gu'nther M, Kielau G, Maisser P (1994) Simulation von Fahrten gesteuerter Bobschlitten. *J Appl Math Mech-USS* 74:434–435. doi:10.1002/zamm.19940740922.
6. Hubbard M, Kallay M, Joy K, Reus J, Rowhani P (1989) Simulation of vehicle and track performance in the bobsled. Proceedings of the 3rd ASME/ASCE Mechanics Symposium. San Diego, CA.
7. Hubbard M, Kallay M, Rowhani P (1989) Three-dimensional bobsled turning dynamics. *J Appl Biomech* 5:222–237.
8. Kielau G, Maisser P (2003) Nonholonomic multibody dynamics. *Multibody Syst Dyn* 9:213–188. doi:10.1023/a:1022920709192.
9. Hainzmaier C, Mack C, Wolf S, Wintermantel E (2004) Computational mechanics in bobsleigh: Finite element model of runner and ice. In: *The Engineering of Sport* 5. Springer, Berlin, pp 256–262.
10. Itagaki K, Huber NP, Lemieux GE (1989) Dynamic friction of a metal runner on ice. 1. Model Sled Test (Report No. A894112). Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover.
11. Itagaki K, Lemieux GE, Huber NP (1987) Preliminary study of friction between ice and sled runners. *J Phys Paris*, 3:C1-297–C1-301. doi:10.1051/jphyscol:1987142.
12. Kozlov II, Shugai AA (2005) Experimental study of high-speed friction on ice. *J Fluid Dyn* 26:145–147. doi:10.1007/bf01050128.
13. Petrenko VF, Whitworth RW (1999) *Physics of Ice*. Oxford University Press, Oxford.

ПРОГРАММА ТРЕНИРОВОК ДЛЯ БОБСЛЕИСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СХЕМЫ ПОВТОРНЫХ СЕРИЙ УПРАЖНЕНИЙ

*Bobsled Athlete Training Program Using Perfect Rep Scheme\
Christian Thibaudeau ([http://t-nation.t-nation.com/free_online_forum/
sports_body_training_performance_bodybuilding_thibaudeau/
bobsled_athlete_training_program_using_perfect_rep_scheme](http://t-nation.t-nation.com/free_online_forum/sports_body_training_performance_bodybuilding_thibaudeau/bobsled_athlete_training_program_using_perfect_rep_scheme))*

В публикации кратко рассматриваются комплексы упражнений, направленные на развитие силовых качеств бобслеистов и использованные автором для подготовки участника двух олимпиад в соревнованиях по бобслею.

Автор называл их «Тренировочные комплексы с усложнением/упрощением» Эта система описана в книге «Theory and Application of Modern Strength and Power Methods» («Теория и практическое применение современных методов развития силы и мощности»).

Эта программа предусматривает применение четырех базовых силовых тренировок в неделю: 2-х тренировок на развитие мышц нижней части тела и 2-х тренировок на развитие мышц верхней части тела.

В основе данной системы лежат болгарские комплексы упражнений, использующие несколько движений, одинаковых по своему характеру, но с разными типами нагрузок. Эти упражнения выполняются в рамках единого комплекса, но с интервалами отдыха между упражнениями продолжительностью 90-120 секунд.

Тренировка с нарастанием нагрузки («с усложнением») начинается с самых легких и заканчивается самыми трудными упражнениями, в тренировке с уменьшением нагрузки («с упрощением») все происходит наоборот.

Пример тренировки с нарастанием нагрузки («с усложнением») для мышц нижней части тела

1. Вертикальные прыжки – 10 повторений
2. Прыжки в глубину – 5 повторений
3. Прыжок с приседанием с 30% от максимума – 5 повторений
4. Взятие штанги на грудь с вися – 3 повторения
5. Приседание со штангой на спине – 3 повторения

Перерывы отдыха между упражнениями 90-120 секунд. Перерыв между сериями составляет 3 минуты. Выполнять данный комплекс следует от 3 до 6 раз в зависимости от недельной нагрузки.

Вспомогательные и восстановительные упражнения (для подколенных сухожилий, поясницы и т.д.) добавляются в конце тренировки по мере необходимости.

Пример тренировки с уменьшением нагрузки («с упрощением») для мышц нижней части тела

1. Приседание со штангой на спине – 3 повторения
2. Взятие штанги на грудь с вися – 3 повторения
3. Прыжок с приседанием с 30% от максимума – 5 повторений
4. Прыжки в глубину – 5 повторений
5. Вертикальные прыжки – 10 повторений

В обоих приведенных примерах комплексов упражнений использованы одни и те же физические упражнения, но выполняются они в обратной последовательности.

По такой же схеме выполняются разные комплексы упражнений для тренировок «с усилением/ослаблением» нагрузки.

Пример тренировки «с усложнением» для мышц нижней части тела

1. Вертикальные прыжки – 10 повторений
2. Прыжки в глубину – 5 повторений
3. Прыжок с приседанием с 30% от максимума – 5 повторений
4. Взятие штанги на грудь с вися – 3 повторения
5. Приседание со штангой на спине – 3 повторения

Пример тренировки «с упрощением» для мышц нижней части тела

1. Румынская становая тяга – 3 повторения
2. Силовой рывок с блоков – 3 повторения (напр.: <http://www.bodybuilding.com/exercises/detail/view/name/power-snatch-from-blocks>)
3. Прыжок после наклона со штангой на плечах с 30% максимального веса – 5 повторений (напр.: http://www.youtube.com/watch?v=E3ql41IT_PI)
4. Прыжок в глубину на расстояние – 5 повторений (<http://www.youtube.com/watch?v=kFf-3FqfSOw>)
5. Серия прыжков в длину – 5 повторений (<http://www.youtube.com/watch?v=7IcmMKFnr18>)

Автор применяли примерно по 6 разных комплексов для мышц нижней и верхней частей тела. Поскольку все они могут быть использованы в порядке «усложнения и упрощения», то фактически использовались 24 разных комплекса упражнений.

Кроме этого выполнялась работа на беговой дорожке. Она основывалась на тех же самых основных принципах.

Например:

- 1 x 30 м с тормозным парашютом для спринта;
- 1 x 30 м спринт;
- 1 x 30 м спринт с тяговым устройством;
- 2-3 минуты между каждым спринтом, данная серия повторяется 2-4 раза в зависимости от эффективности выполнения.

Та же самая серия выполнялась в спринте на 60 м (в другой день).

Две интенсивные тренировки для развития скоростных способностей в неделю (1 тренировка в спринте на 30 м, 1 тренировка в спринте на 60 м) и 2 темповые тренировки в неделю.

Скоростно-силовые тренировки бобслеистов (PushFaster Bobsleigh Training)

В настоящее время, кандидаты в сборную команду Голландии по бобслею готовятся к участию в олимпийских играх в Сочи 2014 года проводят внесезонные тренировки по следующей программе:

Понедельник: Поднятие штанги (толчок/рывок)

Вторник: Отработка техники спринта

Среда: Поднятие штанги (отработка «жимовых» движений)

Четверг: Спринтерские тренировки в горах

Пятница: Поднятие штанги (с акцентом на рывке)

Суббота: Спринтерский бег с сопротивлением

Все силовые тренировки направлены на развитие всех мышц тела, но каждый раз с акцентом на различных тяжелоатлетических аспектах.

Примеры индивидуальных программ тренировок

Результаты тестирования спортсмена

1. Приседание со штангой на плечах (в «тяжелоатлетическом стиле»): 1 x 200 кг
2. Жим штанги, лежа на скамье: 3 x 132,5 кг
3. Силовой толчок: 1 x 140 кг
4. Рывок: 1 x 80 кг

Первый вариант силовой тренировки

1. Приседание со штангой на плечах 4 x 4 @ 140 кг
2. Приседание со штангой на плечах 4 x 10 @ 90 кг
3. «Балансовые прыжки» (прыжки на сохранение равновесия) вперед на 20 м, боковые прыжки на 20м слева-направо, «балансовые прыжки» вперед на 20 м (без рук), «балансовые прыжки» вперед (с закрытыми глазами) на 20 м
4. Силовые толчки:
 - 4 x 70 кг;
 - 4 x 80 кг;
 - 3 x 90 кг;
 - 2 x 100 кг;
 - 1 x 110 кг;
 - 1 x 120 кг.
5. 2 x 1 x рывок 5 x приседания со штангой над головой @ 60/70 кг
6. Подтягивания на перекладине 2 x 10
7. Упражнения для всех мышц корпуса на фитболе
8. Отжимание от штанги и катание ее по полу вперед и назад (<http://www.youtube.com/watch?v=ldV9J0PR3uo>)

Первый вариант беговой тренировки

1. Восстановительный бег
2. Микро-стретчинг (легкие восстановительные упражнения на растяжку)
3. 1 + 1 «спринты» @95%:
8 x 5 метров (30 с отдыха);
6 x 10 метров (40 с отдыха);
4 x 20 метров (50 с отдыха);
2 x 30 метров (60 с отдыха).

Эти варианты скоростного бега («спринты») выполнялись с интенсивностью @95%, но они потребовали напряжения всех сил. Спортсмены чувствовали себя как после очень напряженной тренировки.

Второй вариант силовой тренировки

1. Приседания со штангой на груди
2. Швунг жимовой (сначала приседания со штангой на плечах и затем, сохраняя штангу на плечах, начать выполнение жимового швунга):
1 x 5 – 5 @ 90 кг;
2 x 5 – 3 @ 100 кг (со страховочным поясом).
3. Приседания со штангой на груди
4. Толчок с приседанием (напр., <http://www.youtube.com/watch?v=477vdEbA1MM>)
4 x 3 – 2 @ 110 кг
5. Гантельный ряд (напр., <http://www.youtube.com/watch?v=jglY7g7wzp4>) (должен быть легким, поэтому добавляли толстые рукоятки, по крайней мере, в месте рабочего захвата) – 3 x 10 @ 30 кг
6. Жим штанги, лежа на скамье, в первый раз с толстым грифом:
2 x 130 кг;
3 x 130 кг.
7. Горизонтальные подтягивания (напр., <http://www.youtube.com/watch?v=37uQAnHjc2c>) – 3 x 10
8. Жим штанги, лежа на спине «гильотина» (штанга опускается на уровень шеи, локти располагаются строго под грифом, широкий хват) (<http://www.muscleandstrength.com/>

<http://www.youtube.com/exercises/guillotine-press.html> или <http://www.youtube.com/watch?v=WyMIXJo74dg>) – 3 x 12 60кг/60кг/70кг

9. Толкание Проулера (на астроторфе) (<http://video.ariom.ru/t/prowler-push.html>) 3 x 15 метров @ +50 кг
10. Толкание салазок (на астроторфе) – 3 x 15 метров @ +50 кг

Третий вариант силовой тренировки

1. Рывок с приседом (штанга позади шеи, переход в положение приседания со штангой над головой) (<http://www.youtube.com/watch?v=ixPkeMFy9cc>):
1 x 3 – 50 кг;
2 x 3 – 60 кг;
2 x 3 – 70 кг.
2. Силовой рывок (не опускаться полностью в присед при захвате штанги):
1 x 3 – 60 кг;
3 x 2 – 70 кг;
3 x 1 – 80 кг.
3. Приседания со штангой на плечах
Разминка:
10 x 100 кг;
8 x 110 кг;
6 x 120 кг.
Рабочие серии:
2 x 4 – 140 кг;
1 x 5 – 130 кг;
1 x 7 – 120 кг.
4. Высокая тяга штанги с блоков на высоте колен – 2 x 5 – 120 кг

Дополнительный комплекс упражнений

1. «Взрывные отжимания» (отжимания с максимальным ускорением) – 3 x 10
2. Горизонтальные подтягивания – 3 x 10
3. Толкание Проулера (100 кг на астроторфе) (<http://video.ariom.ru/t/prowler-push.html>) – 3 x 15 метров

Четвертый вариант силовой тренировки

1. Рывок – до 5 x 2 @ 70 кг
2. Толчок в «ножницы» (<http://www.youtube.com/watch?v=bu9H28ImicY>) – до 5 x 2 @ 110 кг
3. Стойка на носках, гриф на уровне глаз, и резкий переход в толчок в «ножницы» – 3 x 5 @ 50 кг
4. Приседания со штангой спереди с резким сбросом штанги от груди (<http://www.youtube.com/watch?v=XkK9-mnDAy4>):
1 x 4 @ 100 кг;
1 x 4 @ 110 кг;
1 x 4 @ 120 кг;
1 x 4 @ 110 кг.
5. Приседание и прыжки со штангой (<http://www.youtube.com/watch?v=rmzRxI8wQU8>):
2 x 4 @ 140 кг;
2 x 2 @ 150 кг.

Вспомогательный комплекс

1. Бобслейный пресс (отжимание от штанги и катание ее по полу вперед и назад) (<http://www.youtube.com/watch?v=ldV9J0PR3uo>) – 2 x 10
2. Горизонтальное подтягивание – 2 x 10
3. Растягивание мышц спины на ящике – 2 x 10
4. Подтягивание (на перекладине) – 2 x 10
5. Упражнения для брюшного пресса

Заканчивается тренировка упражнением, заключающимся в запрыгивании на высокий ящик с мягким приземлением – 2 x 5

Контрольное тестирование:

1. 30 метров (электронное время при высоком старте) – 3,98 с;
2. 60 метров (электронное время при высоком старте) – 7,24 с;
3. вертикальный прыжок – 74,5 см (в прошлый раз: 74,9 см);
4. прыжки в течение 10 секунд (алактатная мощность) – 5,00;
5. прыжок в длину – 3,10 м;
6. толкание ядра – 13,9 м (в прошлый раз: 15,1 м; спортсмен до этого не выполнял данный тест).

Пятый вариант тренировки

1. Приседания со штангой спереди
2. Швунг жимовой (сначала приседание со штангой на плечах, затем, удерживая штангу на плечах, начать жимовой швунг):
1 x 5 – 5 @ 90 кг;
2 x 5 – 3 @ 100 кг (без страховочного пояса)
3. Приседания со штангой спереди
4. Толчок с разведением ног в «ножницы» – 4 x 3 – 2 @ 110 кг
5. Гантельный ряд (<http://www.youtube.com/watch?v=jglY7g7wzp4>) – 3 x 10 @ 30 кг
6. Жим штанги, лежа на скамье с толстым грифом:
2 x 145 кг;
1 x 140 кг.
7. Горизонтальные подтягивания – 3 x 10
8. Приседания со штангой на плечах на одной ноге Л/П (колени другой ноги почти касаются земли рядом с голеностопом рабочей ноги):
1 x 10 @ 70 кг;
2 x 6 @ 80 кг.
9. Растяжка спины – 2 x 10 @ 2,5 кг (руки вытянуты) (http://www.physicalfitnet.com/exercise_video/standing_dumbbell_back_extension.aspx)

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БОБСЛЕЕ:
ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВЫПУСК 3**

Подписано в печать 25.10.2012. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Гарнитура NewtonС. Печать офсетная.
Усл.п.л. 4. Тираж 200. Заказ

ООО «ТВТ Дивизион»
e-mail: sportbooks@mail.ru

Отпечатано в ООО «Типография «САРМА».
г. Подольск, ул. Правды, д.30