

ПОВЕРХНОСТНОЕ ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛЫЖ: ПРИРОДА, ПУТИ И МЕТОДЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

Всероссийская
научно-практическая
конференция
**«Современная
система спортивной
подготовки в
биатлоне»**
24-25 апреля 2012
года, г. Омск

Леонид Кузьмин
Ph.D. (к.т.н.) по спортивным
технологиям, Швеция



Вехи пути

- ▶ 1982 – МВТУ им. Н.Э. Баумана;
- ▶ 1988 – МОГИФК (заочно);
- ▶ 2010 – Ph.D. (к.т.н.) по спортивным технологиям, Швеция, Эстерсунд;
- ▶ Мастер спорта СССР по биатлону, и по спортивному ориентированию на лыжах;
- ▶ Чемпион СССР 1989 по спортивному ориентированию на лыжах;
- ▶ 2006 – Основал фирму Kuzmin Ski Technology AB (www.kuzmin.se);

Вехи пути

- ▶ 2009 – Запатентовал систему Alate Grip™;
- ▶ 2010 – Член редколлегии журнала Sports Technology;
- ▶ 1992 – 1994 SkiGo



Kuzmin Ski Technology AB.
Карлстад, Швеция



Sports Technology

Published By: Routledge

Volume Number: 4

Frequency: 4 issues per year

Online ISSN: 1934-6190

[Subscribe Online](#) | [Table of Contents](#)
[Alerting](#) | [View Full Pricing Details](#)

Editorial Board

Editors-in-Chief

F.K. Fuss - RMIT University, Australia

A. Subic - RMIT University, Australia

R. Metha - Sports Aerodymanics Consultant, USA

Editorial Board

T. Allgeuer - Dow Europe, Horgen, Switzerland

F. Amirouche - University of Illinois, Chicago, USA

G.P. Bruggemann - German Sport University, Cologne, Germany

A. Chou - Engineering Rawlings Group, St. Louis, USA

I. Emri - University of Ljubljana, Slovenia

R.G.J. Flay - University of Auckland, New Zealand

J. Hamill - University of Massachusetts, Amherst, USA

D. A. James - Griffith University, Australia

I. James - Cranfield University - UK

Y. Kawazoe - Saitama Institute of Technology, Japan

V. Kleshnev - English Institute of Sport, Bisham, UK

B.W. Kooi - Vrije University, Amsterdam, The Netherlands

L. Kuzmin - Kuzmin Ski Technology, Karlstad, Sweden

P. Litchfield - Advanced Concepts Reebok International Ltd., Canton, USA

---:25 апреля 2012, Омск. Поверхностное трение
скольжения лыж: природа, пути и методы его
улучшения -- Леонид Кузьмин ---:--

Цель исследования

- ▶ Основной целью данного исследования является идентификация топографических, физических и химических свойств скользящей поверхности лыж, которые оказывают существенное значение на скольжения, и определение, что и как из этих свойств мы можем изменить для улучшения скольжения лыж по снегу.
- ▶ Вторичная цель заключается в разработке практических методов для реализации обнаруженных закономерностей.

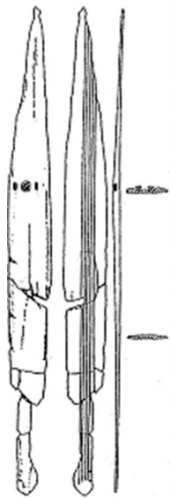
Границы области исследования

- ▶ Поверхностное трение скольжения лыж по снегу
- ▶ Упругие (распределение давления, эпюра) и вибро-резонансные характеристики лыж находятся за пределами области исследования



(From www.vector-ski.com)

История



3000 BC



1924



2002

Почему современная доктрина подготовки лыж так непоследовательна и противоречива?

1. Сильное и неизменное желание видеть подготовку лыж как искусство и магию, а не как технологический процесс и наука.
2. Экстенсивный характер спорта высших достижений. Политический престиж и шовинизм всегда способны добыть колоссальные (практически неограниченные) ресурсы. Наличие таких ресурсов убивает все побуждающие факторы, ведущие к эффективности.
3. Желая обмануть покупателя, или благодаря некомпетентности, или по обеим причинам сразу, но производители мазей скольжения упорно распространяют и поддерживают многие ложные представления. Например: пористость СПЛ, высыхание СПЛ, пропитка СПЛ и т.д. Беспочвенные иллюзии, которые десятилетиями циркулируют среди лыжников и специалистов.

4. Очень большой вес таких псевдоаргументов как «все так делают», «никто так не делает», «всегда так делали» и «никогда так не делали» в среде признанных лыжных экспертов.
5. Слабый интерес со стороны физиков и инженеров сделать свой вклад в лыжную науку. Слишком много отдано на откуп бывшим спортсменам и тренерам.
6. Чрезмерная фиксация на практических трудоемких манипуляциях («Здесь мерилком работы считают усталость») не дает техническому персоналу применять научные методы в своей работе.
7. Недостаточные знания и малый опыт в практике лыжных соревнований высшего ранга мешают ученым проводить актуальные эксперименты. Эксперименты, дающие ответ на насущные вопросы практиков.
8. Лыжная трасса – весьма и весьма сложная материя. Материя, меняющаяся каждую минуту.

5. Слабый интерес со стороны физиков и инженеров сделать свой вклад в лыжную науку

- Физиология и биомеханика одновременных ходов рассматривается в сотнях опубликованных работ.
- Конструкция и механические характеристики гоночных палок только 2-5 работах.

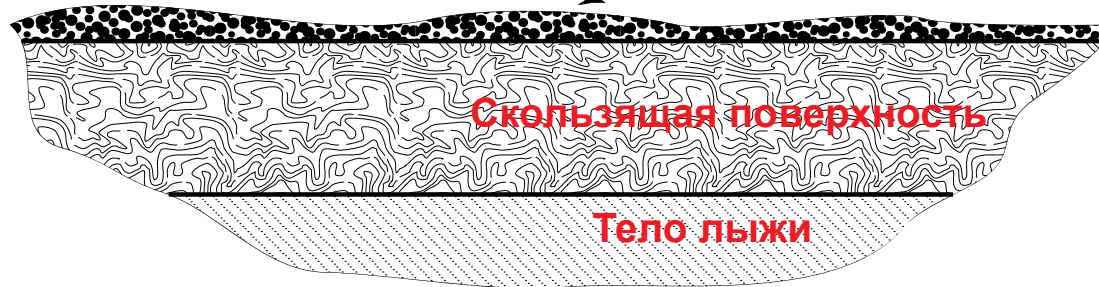


9. Несмотря на технический прогресс, лыжные компании не могут производить лыжи достаточно точно, так точно, как они были задуманы. Случайные колебания качества оказывают существенное влияние на упруго-эластичные и вибро-резонансные характеристики выпускаемых лыж, и такой нестабильный «фон» сильно усложняет выявление механизмов трения в интерфейсе СПЛ – снег.
10. Отсутствие «контрольной группы» и однозначной отправной точки в большинстве лыжных тестов на скольжение. По-разному обработанные лыжи сравниваются в попытке выявить какую-то тенденцию. Но какой-либо «контрольной группы», достойной этого названия, не существует.
11. Распространенное употребление полностью не идентифицированных (не определенных) терминов «unwaxed skis» = «не запарафиненные лыжи», «no wax» = «без парафина» во множестве научных работ.

10. Отсутствие «контрольной группы» и однозначной отправной точки в большинстве лыжных тестов на скольжение

После катания

Грязь НА скользящей поверхности



После чистки горячим парафином

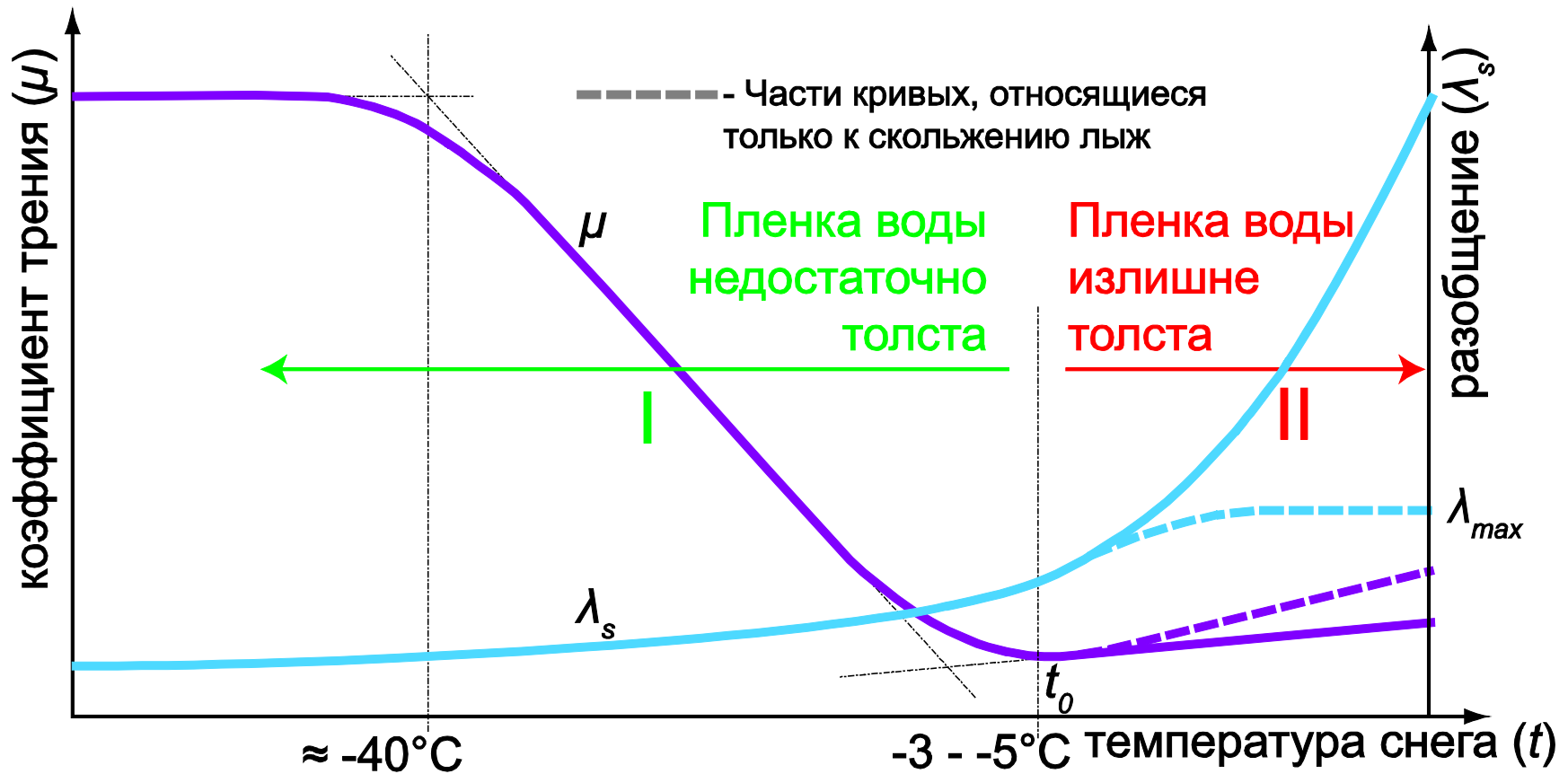
Грязь В скользящей поверхности



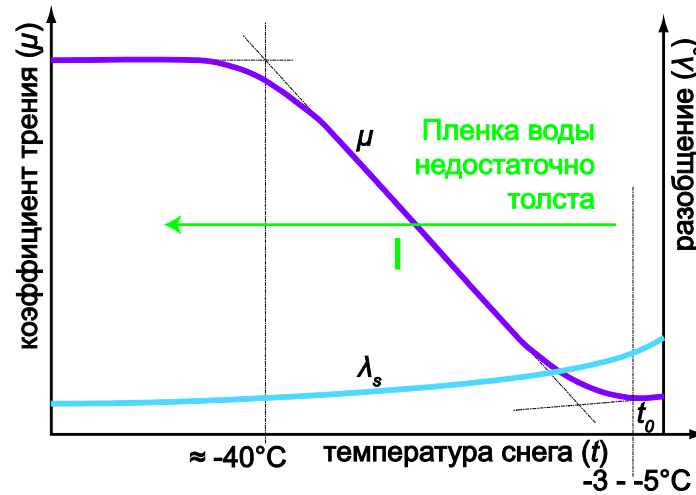
12. Игнорирование принципов тестирования лыж на скольжение: минимальная скорость 5 м/с, 10 м на актуальной скорости до первого датчика



Обобщенная кривая Штрибека модифицированная и примененная к скольжению лыж



Зона I (пленка воды тонковата)



$$\mu = \mu_{plough} + \mu_{dry} + \mu_{lub} + \mu_{cap} + \mu_{dirt}$$

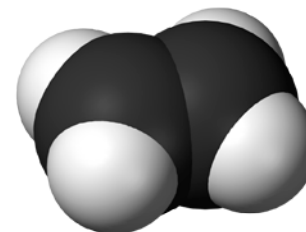
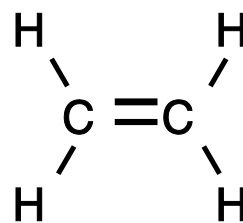


$$\mu = \mu_{plough} + \mu_{dry} + \mu_{lub}$$

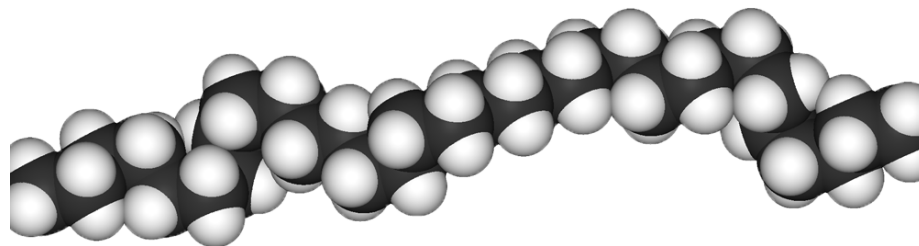
Материал СПЛ – status quo

Имеется две общие разновидности современных СПЛ из СВМПЭ: беспримесная прозрачная (опаловая) СПЛ и «графитовая» черная СПЛ с примесью сажи (аморфный углерод)

Мономер - Этилен



Полимер- Полиэтилен



Физико–химическая обработка скользящей поверхности лыж

- ▶ Все мази скольжения, представленные на современном рынке лыжных продуктов, очень сильно похожи (почти идентичны)
- ▶ Рекомендации изготовителей мазей скольжения сходны: ниже температура – тверже мазь

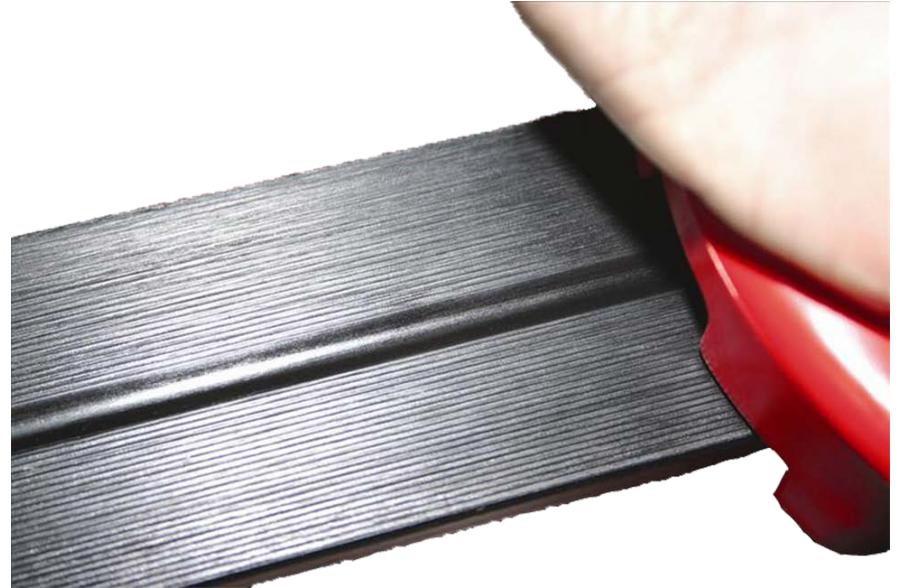


Топография (структура) СПЛ – status quo

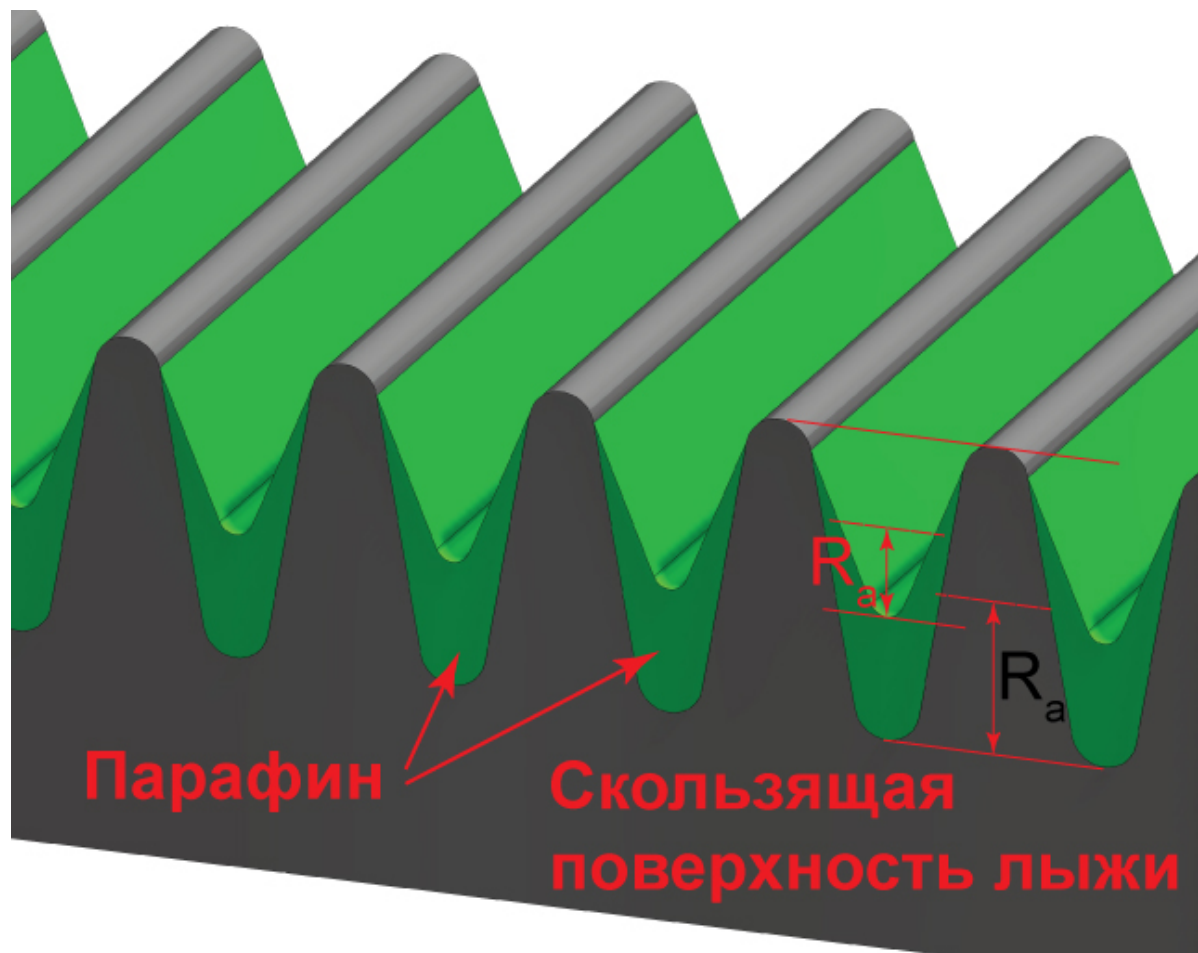
Штайншлифт



Ручная накатка

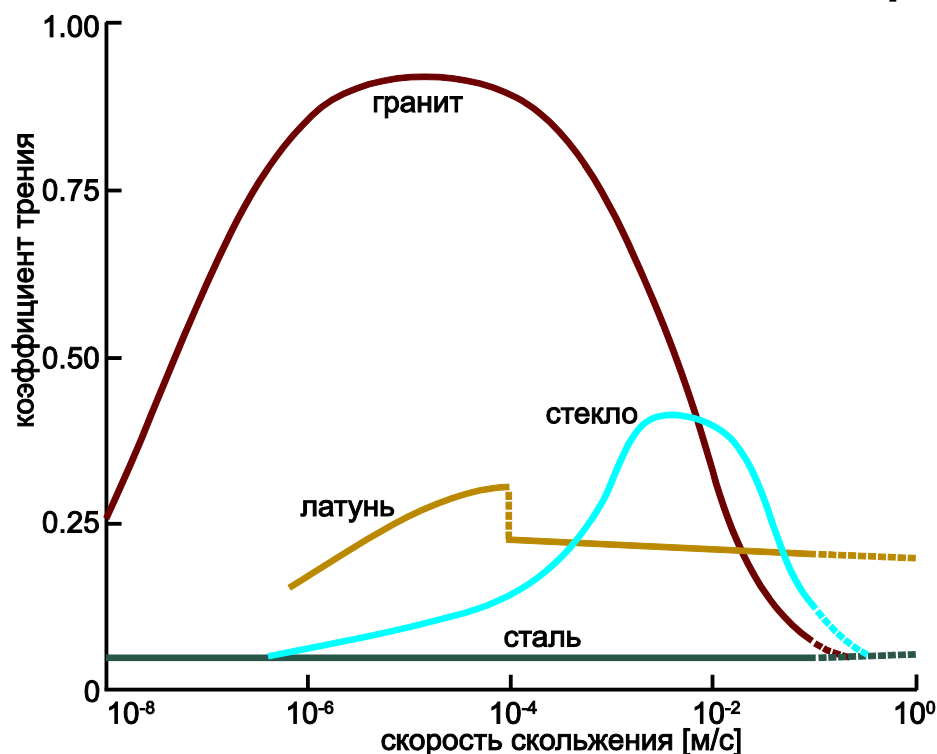


Выравнивание структур – status quo



СПЛ (твёрдость) – развитие

- ▶ Для минимизации μ_{plough} и $\mu_{dry} + \mu_{lub}$ материал д.б. максимально твёрдым.

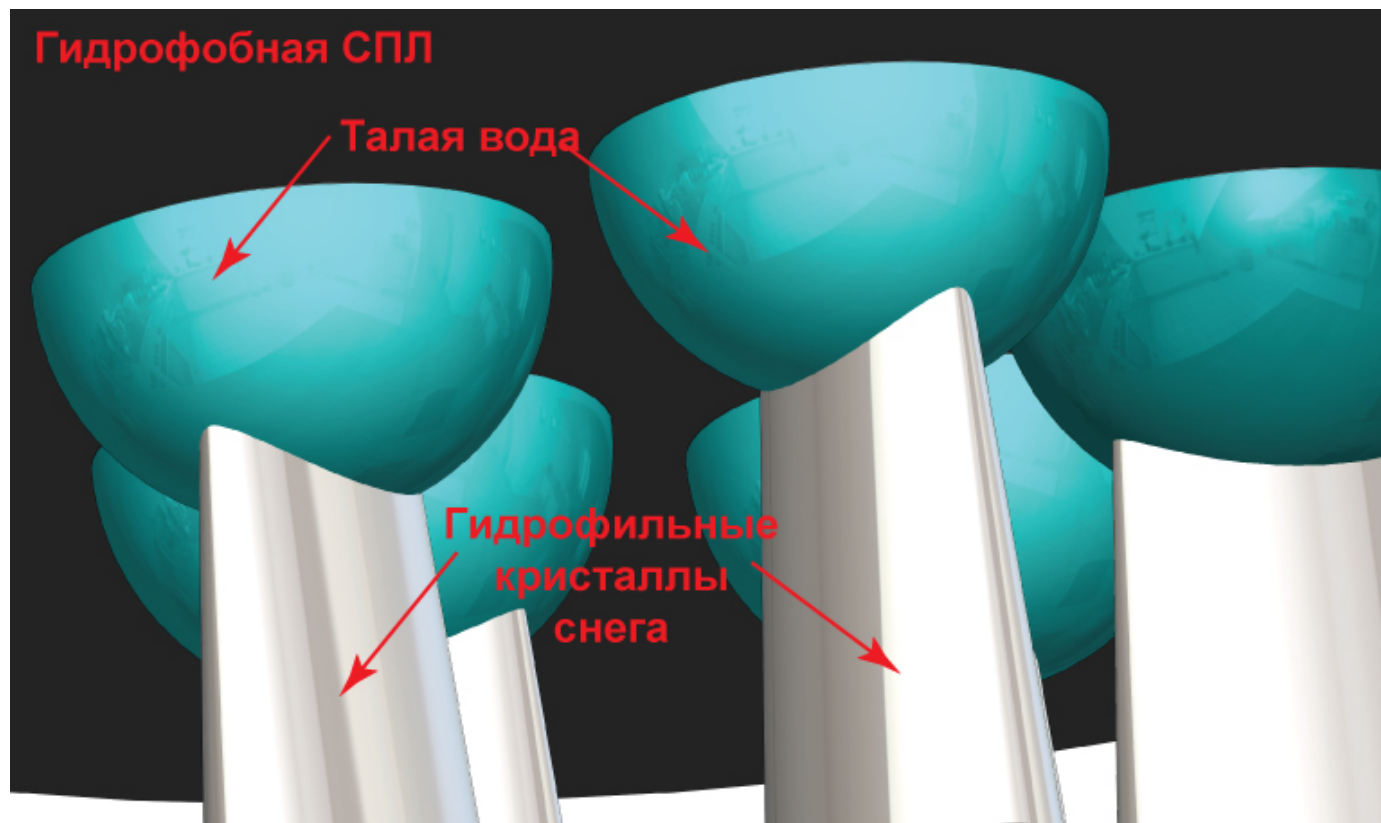


СПЛ (износостойкость) – развитие

- ▶ Увеличение молекулярного веса уменьшает коэффициент сухого трения (μ_{dry}) и повышает износостойкость.
- ▶ СВМПЭ армированный частицами квазикристаллов демонстрирует более высокую износостойкость, чем чистый.

	P-Tex [®] 2000	P-Tex [®] 2000 Electra [®]
Молекулярный вес(ISO/R1191) [г/мол]	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Плотность (DIN 53479) [г/см ³]	0,935	1,0
Износостойкость(Sand-slurry Steel 37 = 100)	20	30
Модуль упругости (DIN 53457) [МПа]	500	600

СПЛ(смачиваемость) – развитие



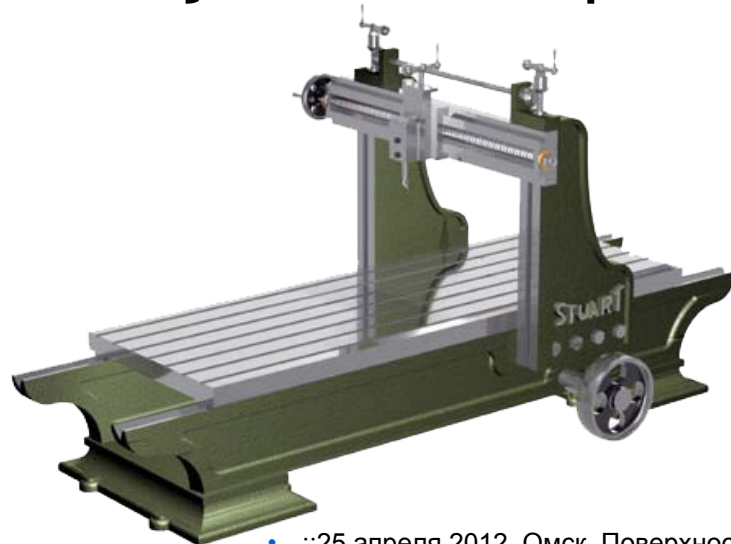
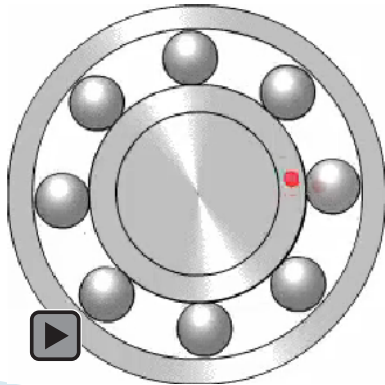
- ▶ Почему не ПТФЭ или разветвленный ПТФЭ?

СПЛ (теплопроводность) – развитие

- ▶ Низкая теплопроводность СПЛ экономит тепло, полученное при трении, и это тепло идет на получение еще большего объема смазки – талой воды. Исходя из этого, очень трудно понять присутствие весьма теплопроводной сажи ($24,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$) в малотеплопроводном СВМПЭ ($0,4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$)

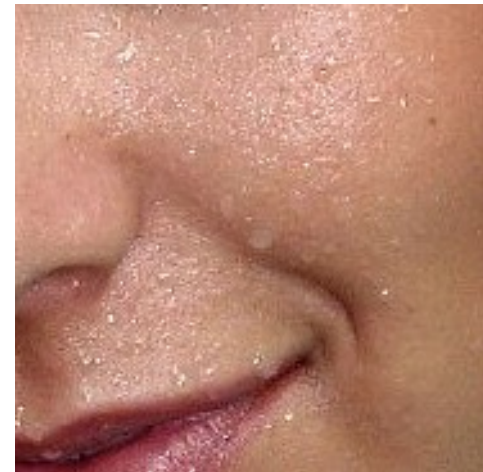
Ф-Х обработка СПЛ – развитие

- ▶ На лыжах мы движемся поступательно. И если мазь скольжения или добавки сухих смазок (сажа, молибден диоксид и т.д.) играют роль в разобцении трущихся поверхностей (снег и СПЛ), то такие мази или добавки должны оставаться на лыжной трассе, и они не могут принимать дальнейшего участия в процессе скольжения лыж.



Ф-Х обработка СПЛ (выпотевание) – развитие

- ▶ «При скольжении, слой парафина на СПЛ стирается, и затем «заготовленный» в толще СПЛ парафин «выпотевает» наружу за счет обратной диффузии и снабжает смазкой трущиеся поверхности».^a



^a KARLÖF, L., TORGERSEN, L. & SLOTFELDT-ELLINGSEN, D. (2005) Why is ice and snow slippery? The Tribo-physics of skiing. Oslo, Swix Sport AS.

Простой расчет

Дистанция $D = 10 \text{ км} = 10^4 \text{ м}$

Ширина лыжи $b = 40 \text{ мм} = 4 \times 10^{-2} \text{ м}$

Толщина разделительного слоя $h = 1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$

Необходимый объем парафина $D \times h \times b = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 0,4 \text{ л}$

Мы предположили необходимость слоя парафина в 1 мкм толщиной для частичного разделения граней снежных кристаллов и неровностей СПЛ на дистанции в 10 км.

Необходимый «запас» парафина в объеме 0,4 литра на одну лыжу. Это совершенно не реально.



Ф–Х обработка СПЛ (насыщение) – развитие

- ▶ Обычай «насыщать» СПЛ много раз расплавленным парафином очень популярен в среде лыжников и технического персонала.
- ▶ На самом деле, происходит значительное ухудшение основных механических свойств материала после такой обработки.

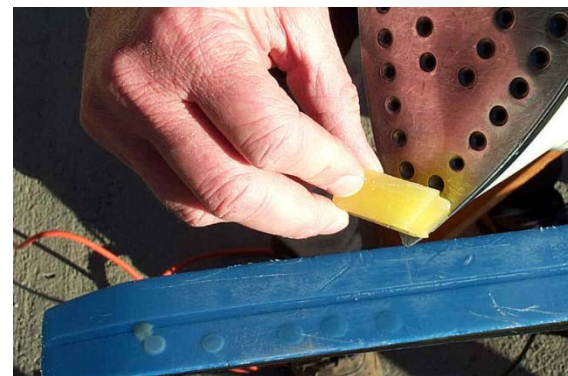


Физико–химическая обработка скользящей поверхности лыж (изменение твердости) – развитие

«...одно из назначений мазей скольжения заключается в изменении твердости СПЛ в зависимости от жесткости снега».^a

Идентичное утверждение можно найти в тысячах пособий.

^a KARLÖF, L., TORGERSEN, L. & SLOTFELDT-ELLINGSEN, D. (2005) Why is ice and snow slippery? The Tribo-physics of skiing. Oslo, Swix Sport AS.



•--::25 апреля 2012, Омск.
Поверхностное трение скольжения лыж: природа, пути и методы его улучшения -- Леонид Кузьмин --::--

Почему лезвия коньков максимально твердые?

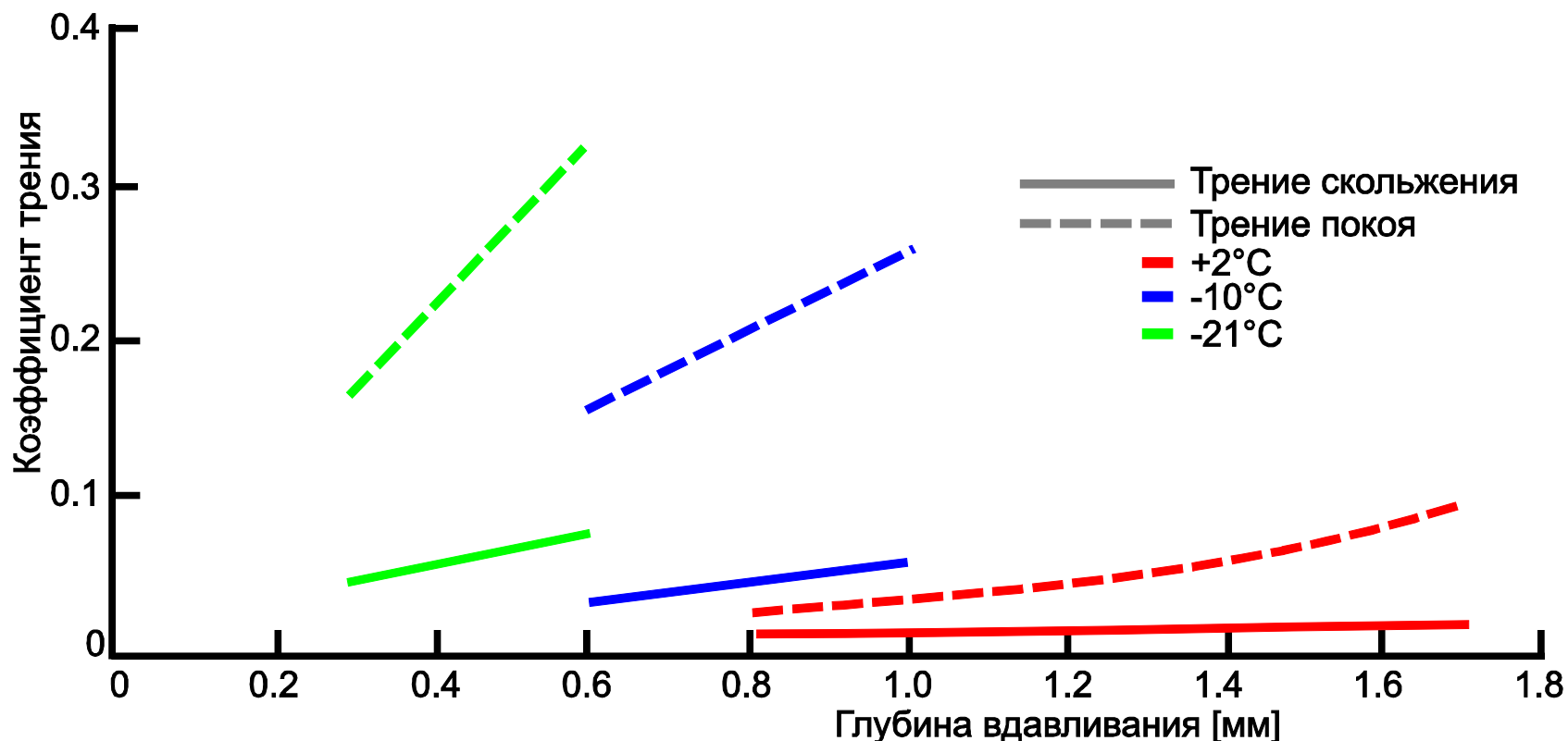
Как не странно, но конькобежцы никогда не пытались улучшить скольжение на мягком льду (теплая погода) с помощью алюминиевых (или латунных) лезвий вместо стальных. Почему?



Коньки будущего?



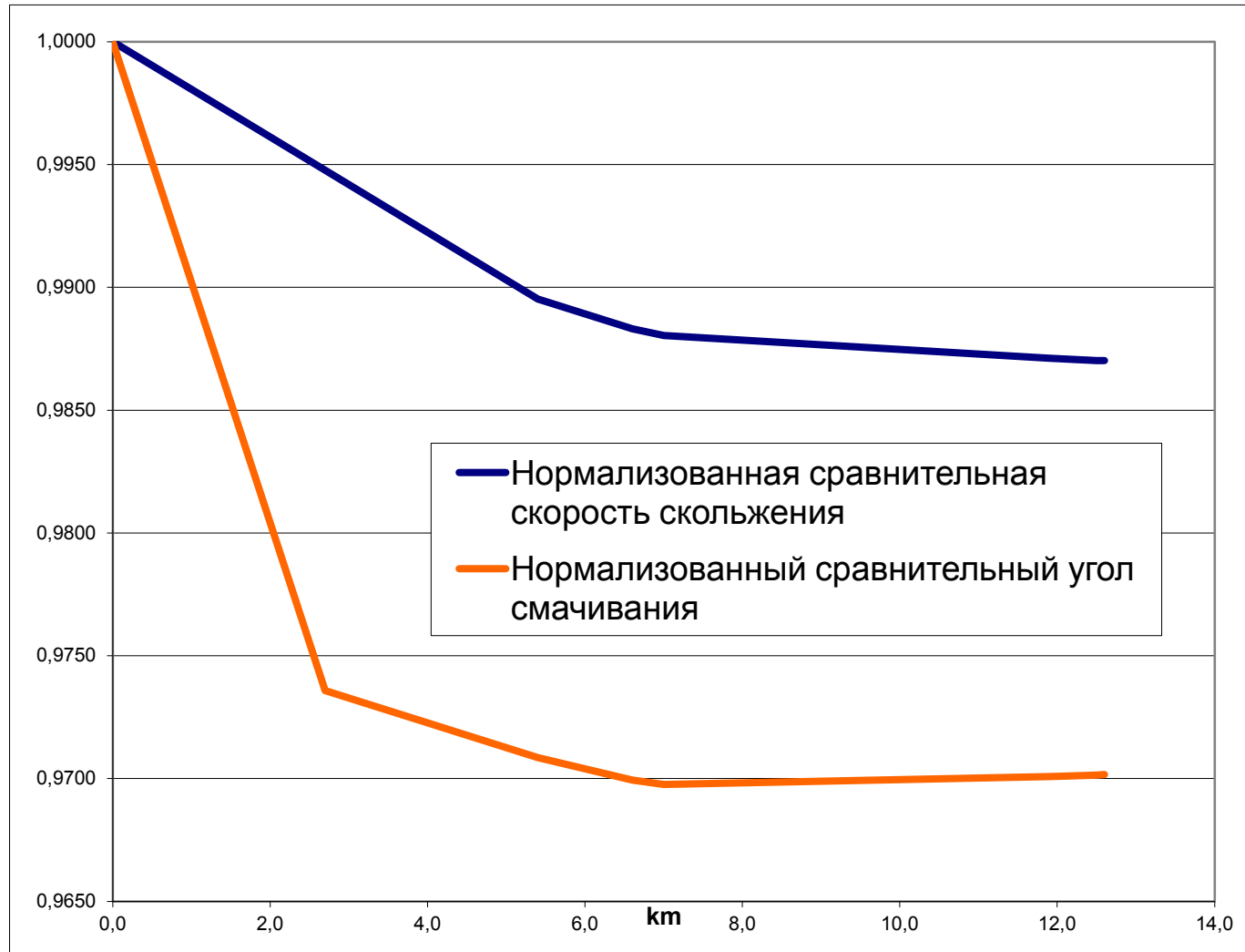
Ф-Х обработка СПЛ (изменение твердости) – развитие



Трение скользящих поверхностей покрытых парафинами разной твердости при разных температурах. Твердость дана глубиной вдавливания [мм] (by Masaki Shimbo 1971)

Скорость и угол смачивания СПЛ на сухом холодном снеге

Из Kuzmin, L. & Tinnsten, M. 2007. The contamination, wettability and gliding ability of ski running surfaces. In: LINNAMO, V., KOMI, P. V. & MÜLLER, E. (eds.) *Science and Nordic Skiing*. London, UK: Meyer & Meyer Sport.



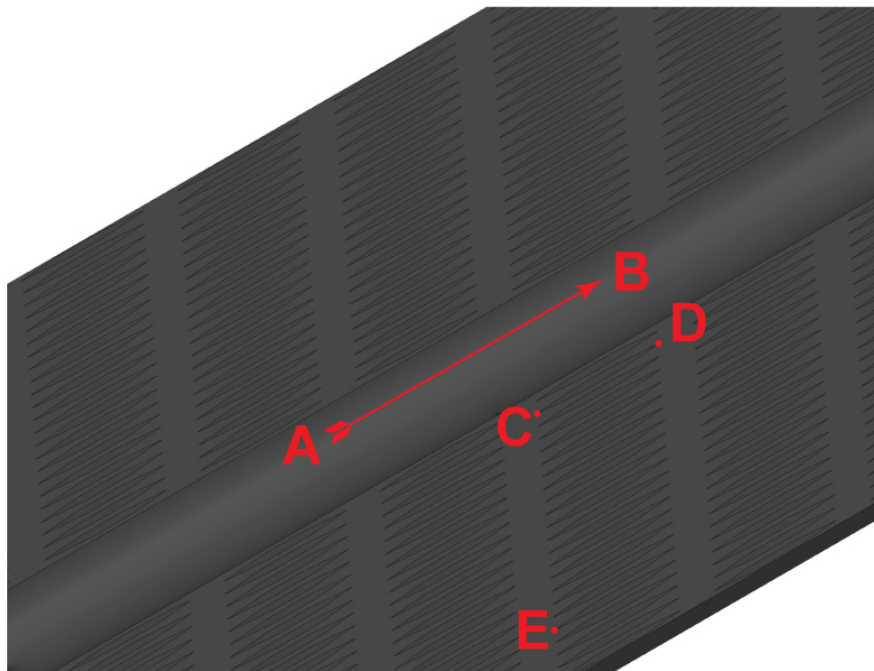
Ф-Х обработка СПЛ – развитие

- ▶ Невозможно объяснить необходимость обработки СПЛ парафинами при наличии холодного агрессивного снега. Единственно обоснованная цель применения парафинов в таких условиях, это уменьшение грубости (глубины) структур на СПЛ. Но это временное и не самое эффективное решение.

Материал	Твердость [Shore D]
P-Tex® 2000 Electra®	65.7
P-Tex® 2000	64.2
P-Tex® 4000	67.3
P-Tex® 5000	68.6
Star парафин NA8 (-8°/-20°C)	50.4
Swix® LF4 -10°C/-20°C	47.8
Toko® Dibloc LF -10°C to -30°C	46.9
Vauhti графит антистатик Hard -7°...-25°C	46.7

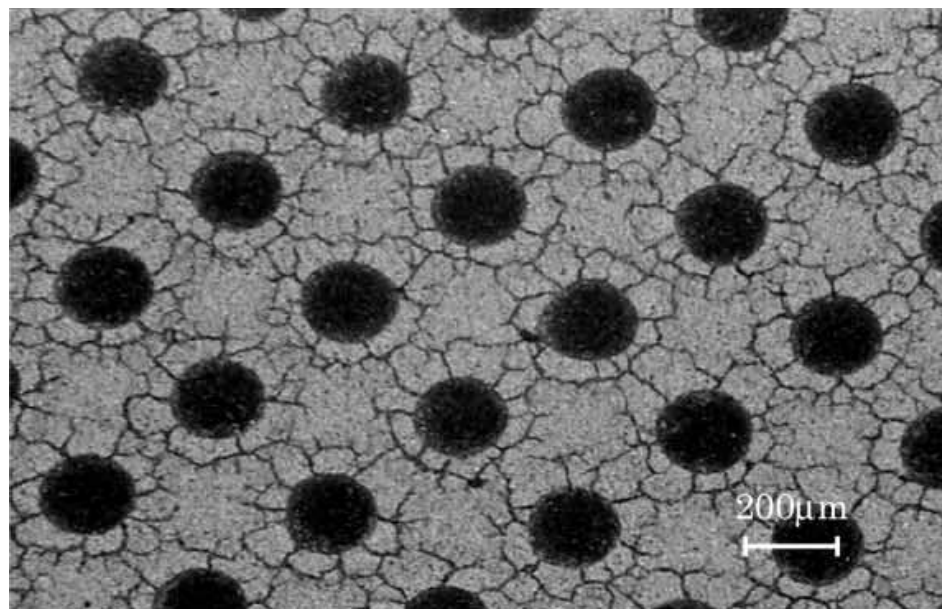
Топография СПЛ – развитие

- ▶ Направление минимального элемента рисунка штайншлифта (даже у так называемых «Х» структур) и большинства накаток точно соответствует направлению движения. По этой причине такие структуры сделают недостаточно толстую пленку воды еще тоньше.



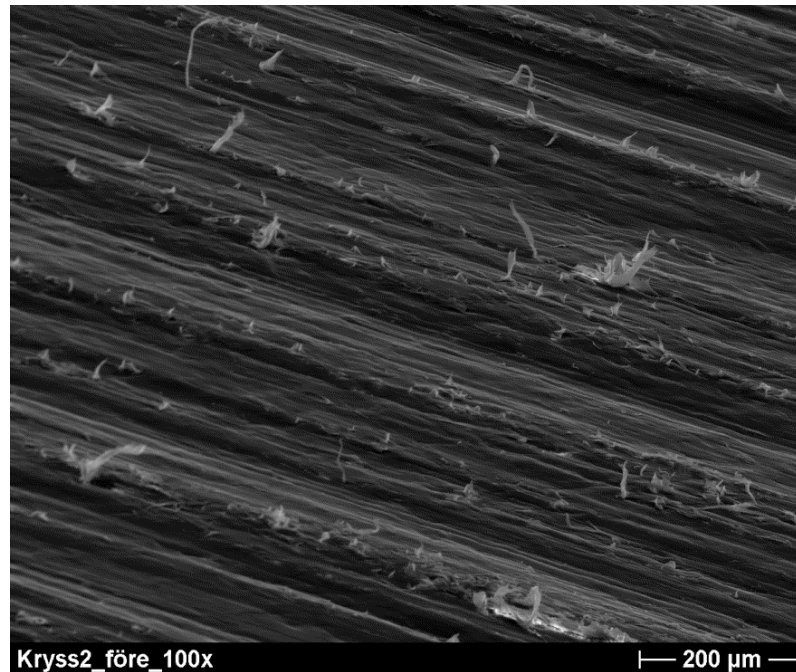
Топография СПЛ – развитие

- ▶ Многообещающий метод, который никогда не использовался в лыжах, это создание «лунного ландшафта» на СПЛ.



Топография СПЛ – развитие

- ▶ Еще один наиболее известный недостаток штайншлифта, это получение микроворса на СПЛ. Лыжи после штайншлифта должны пройти неоднократную обработку парафином, иначе такие лыжи очень и очень плохо скользят.

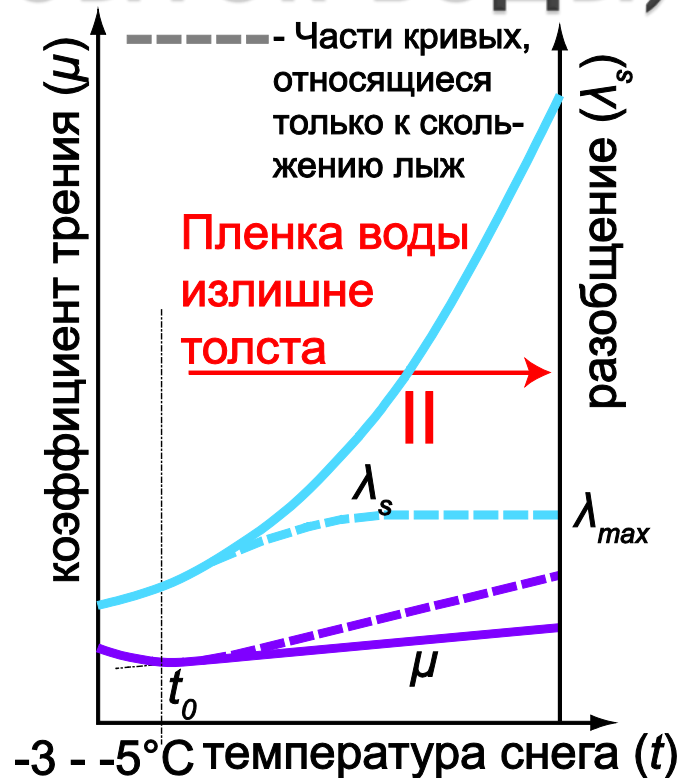


Топография СПЛ – развитие

- ▶ Имеется несколько методов получения супергидрофобных поверхностей, например, фрактальная поверхность, но такие поверхности и многие другие виды супергидрофобных поверхностей весьма чувствительны к повреждениям и нагрузке. С этой точки зрения, весьма многообещающими выглядят поверхности со случайными структурами.



Зона II (избыток воды)



$$\mu = \mu_{plough} + \mu_{dry} + \mu_{lub} + \mu_{cap} + \mu_{dirt}$$



$$\mu = \mu_{lub} + \mu_{cap} + \mu_{dirt}$$

Физико–химическая обработка СПЛ – status quo

- ▶ Рекомендации различных производителей полностью идентичны: выше температура – мягче мази и выше содержание фторуглеводородных добавок или чистые фторуглеродные порошки.



Топография СПЛ– status quo

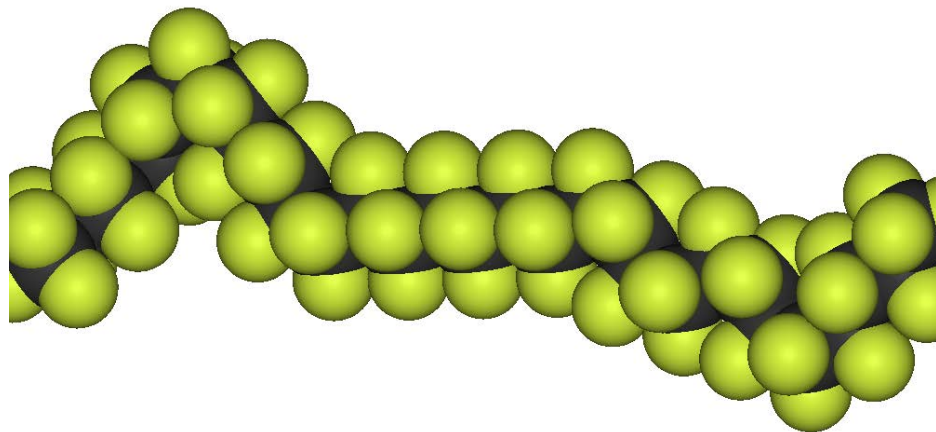
- ▶ Рекомендации производителей лыж и специалистов штайншлифта достаточно просты: чем больше свободной воды содержит снег, тем грубее (глубже) рисунок штайншлифта и более грубые (более редкая гребенка) ручные накатки используются.



Материал СПЛ (твердость) – развитие

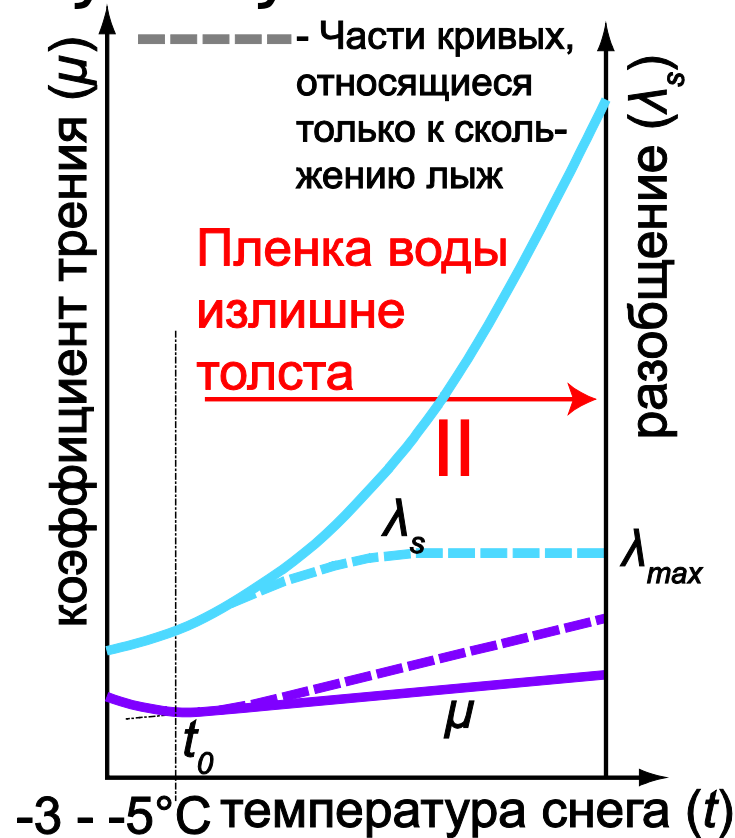
- ▶ Твердость влияет только на величину μ_{dirt} , так как твердый и упругий (пружинистый) материал отталкивает грязь лучше, чем мягкий и вязкий. Стандартный ПТФЭ должен хорошо работать в условиях грязного мокрого снега.

Политетрафторэтилен



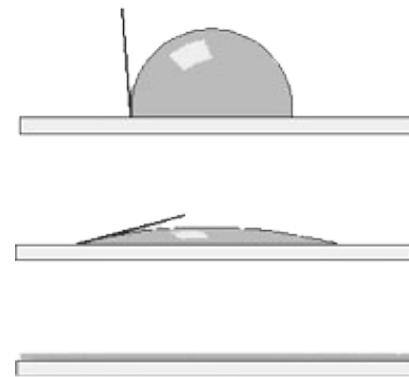
Материал СПЛ (износ) – развитие

- ▶ Мы в данный момент рассматриваем скольжение лыж на мокром снегу в ГДС режиме. В этом случае истирание СПЛ практически отсутствует.



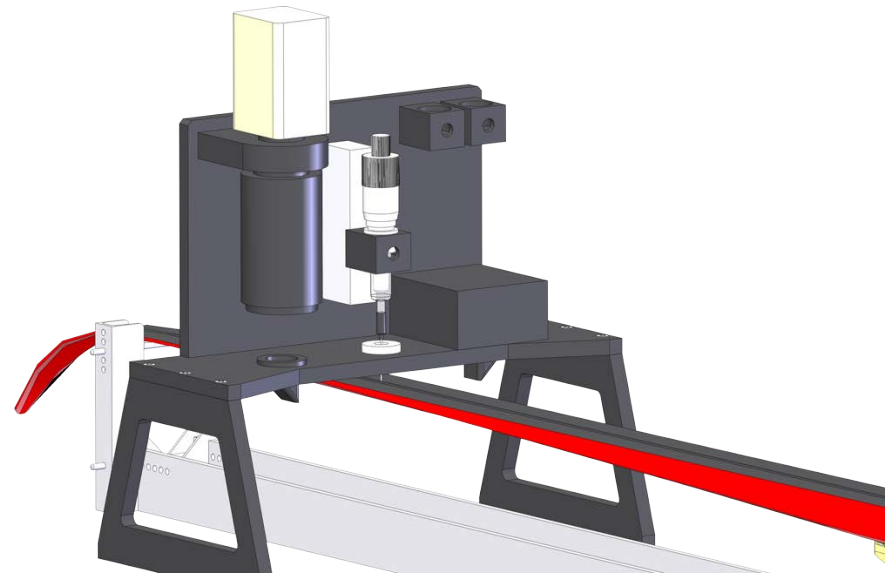
Материал СПЛ (смачивание) – развитие

- ▶ Благодаря низкой смачиваемости (высокой гидрофобности) материала СПЛ можно легко добиваться высокой гидрофобности и самой поверхности скольжения, тем самым уменьшая нежелательное трение. В уравнении этот процесс влияет на уменьшение переменной μ_{cap} .
- ▶ Таким образом, выглядит так, что ПТФЭ (Teflon®) является на сегодняшний день лучшим материалом для СПЛ в условиях мокрого снега.



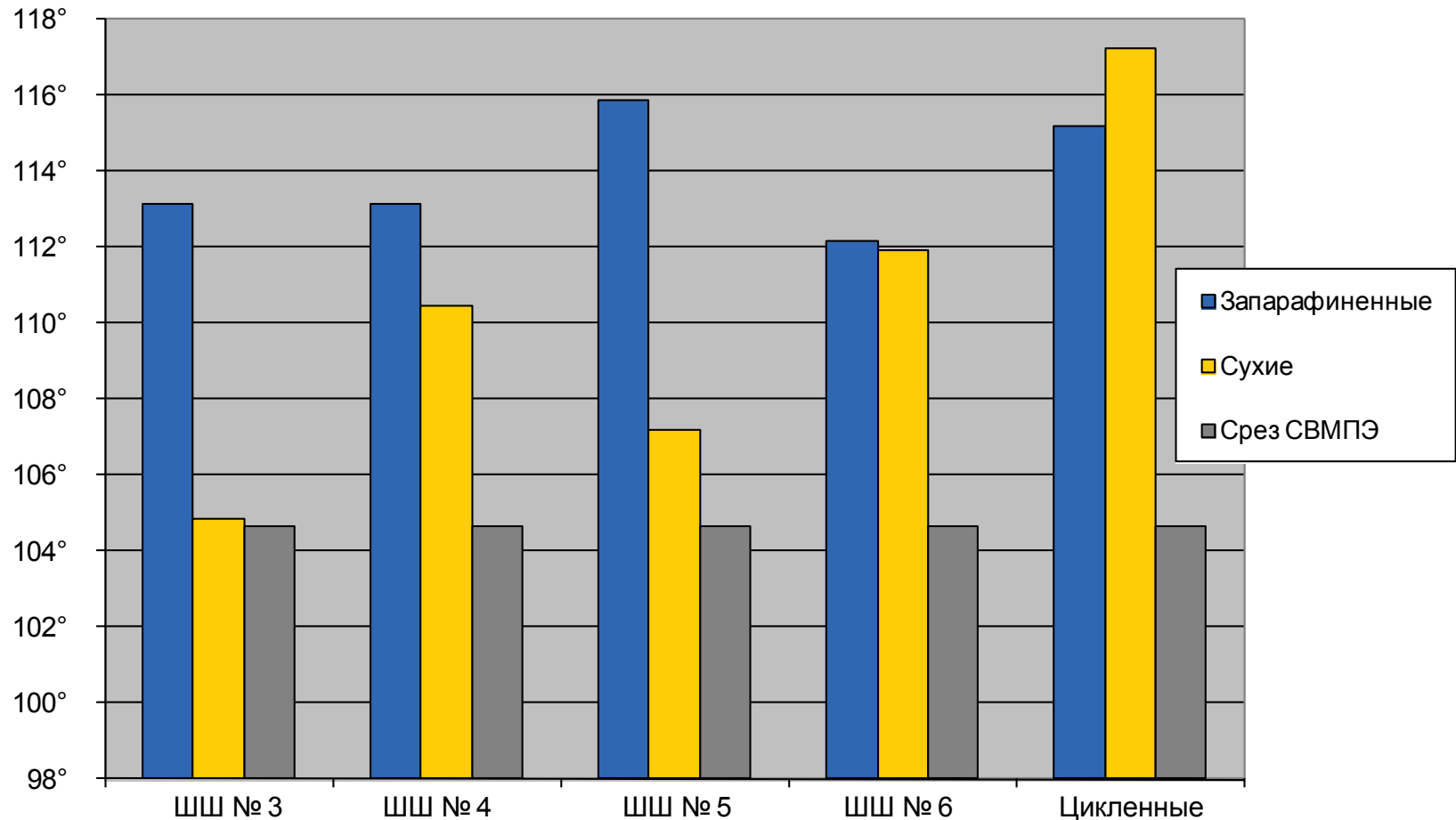
Ф–Х обработка СПЛ – развитие

- ▶ Общепризнанное назначение физико–химической обработки СПЛ при условиях мокрого снега – это повышение ее водоотталкивающих свойств. Мои собственные и др. авторов измерения показывают очень близкую степень гидрофобности для механически обработанной СПЛ и фторуглеродов.



Ф-Х обработка СПЛ – развитие

Наступающий угол смачивания
Запарафиненные - Сухие



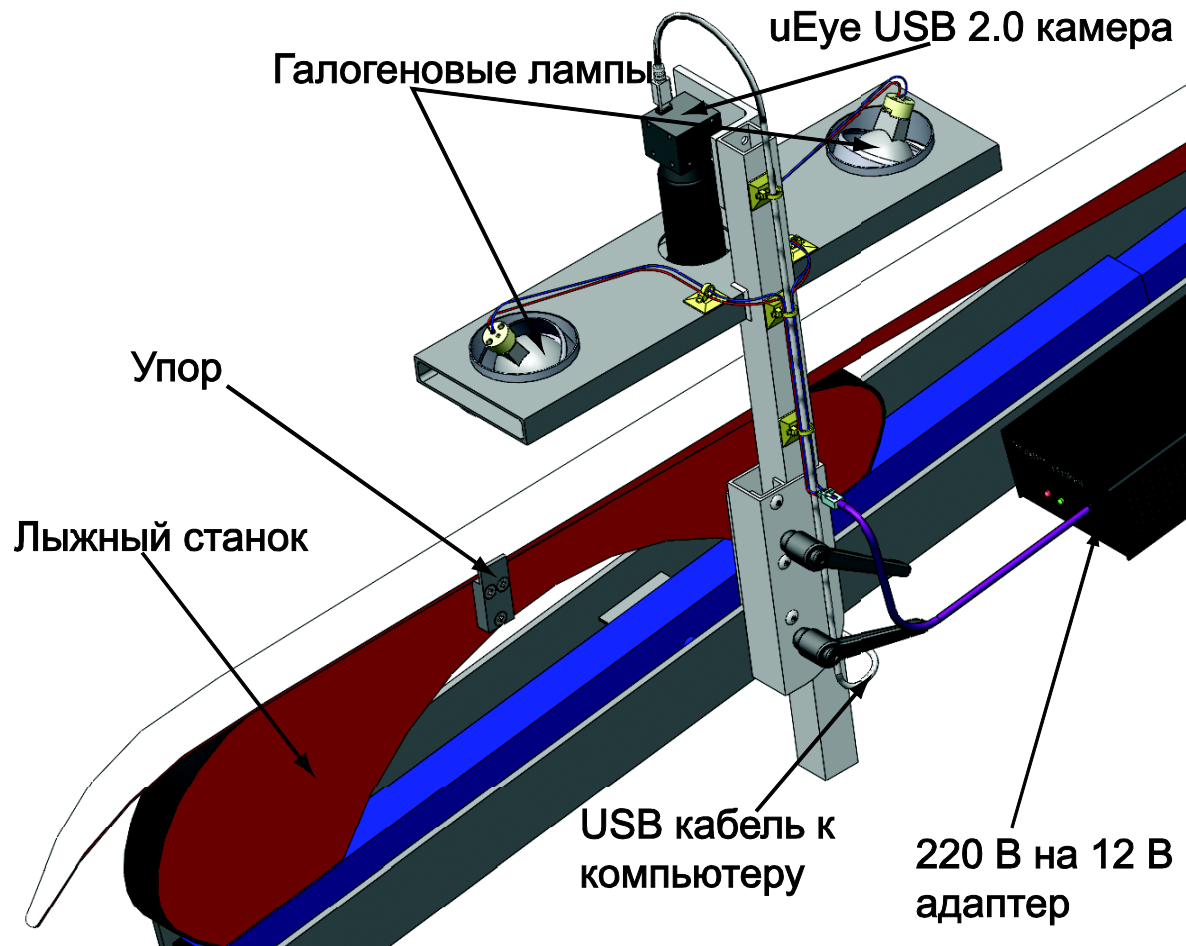
Ф-Х обработка СПЛ – развитие

- ▶ Так как мази скольжения для мокрого снега довольно мягки и вязки в сравнении со СПЛ, то эти мази (фторуглероды, фторуглеводороды) увеличивают сбор и накопление грязи на СПЛ.

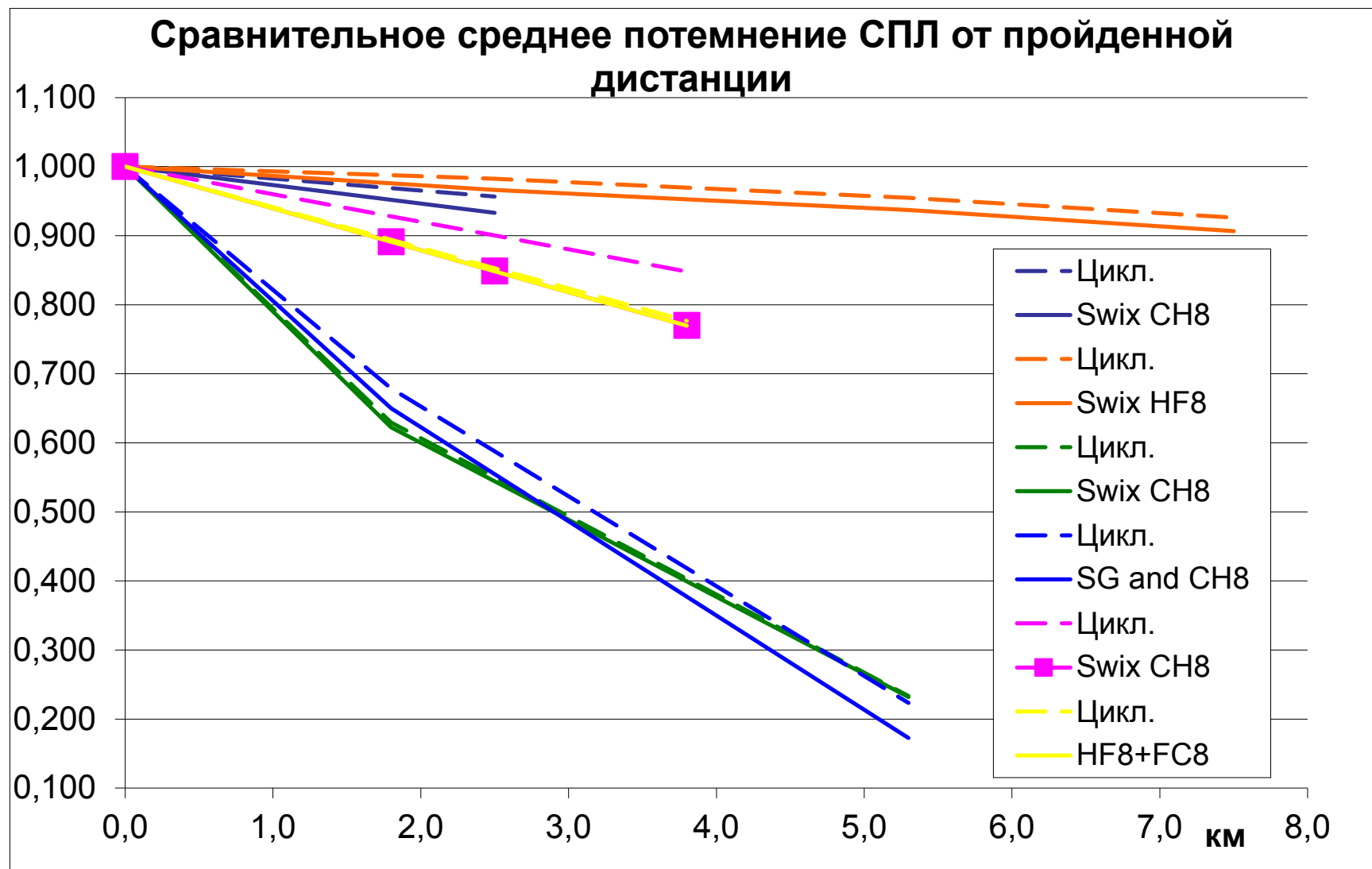


Ф-Х обработка СПЛ – развитие

- ▶ Измерения, проведенные ЭТИМ аппаратом, показывают четкую зависимость между наличием мази скольжения и загрязнением СПЛ на мокром снегу.

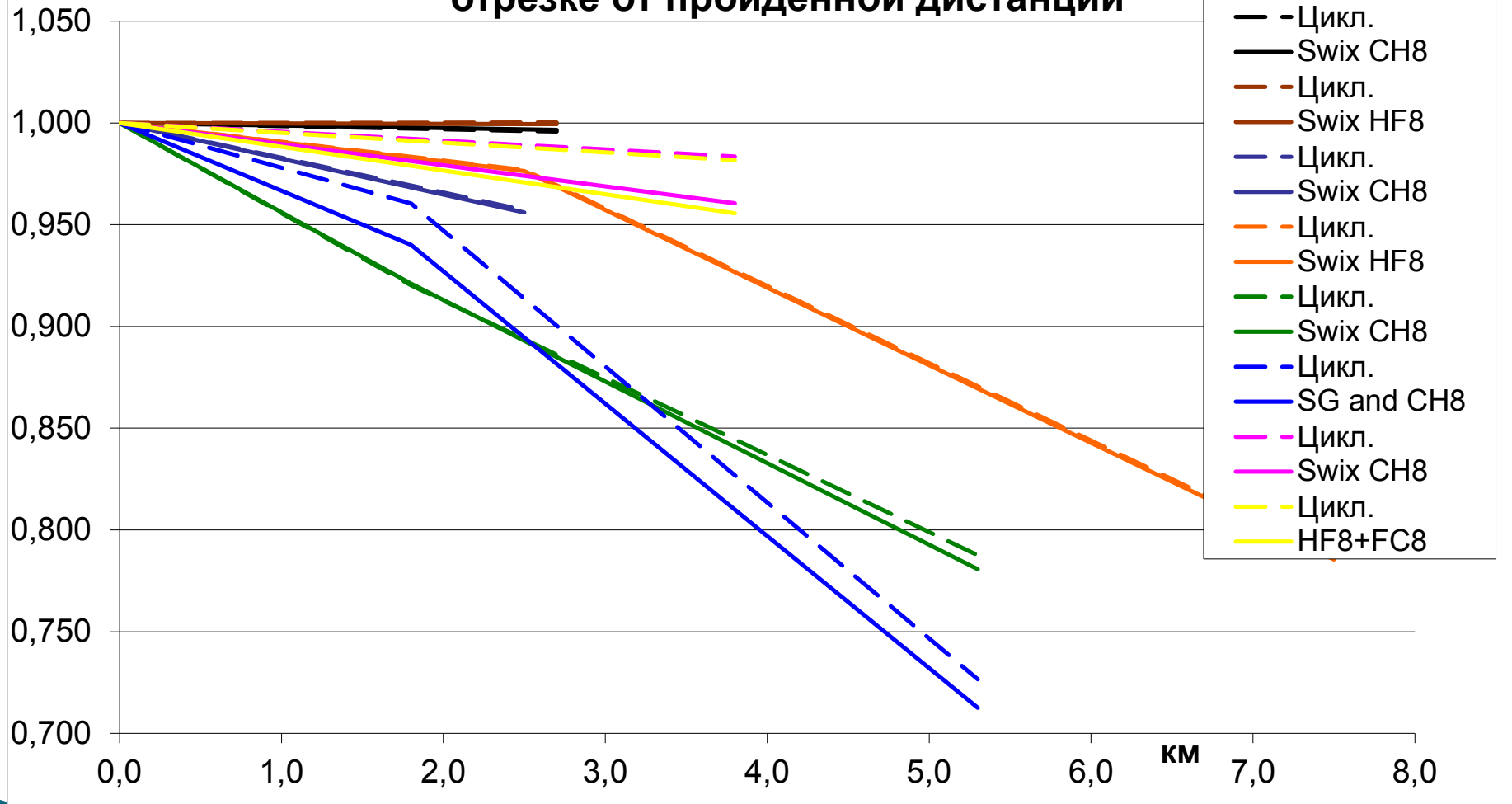


Ф-Х обработка СПЛ – развитие



Ф-Х обработка СПЛ – развитие

Сравнительная скорость скольжения на контрольном отрезке от пройденной дистанции



Загрязнение видно и невооруженным глазом

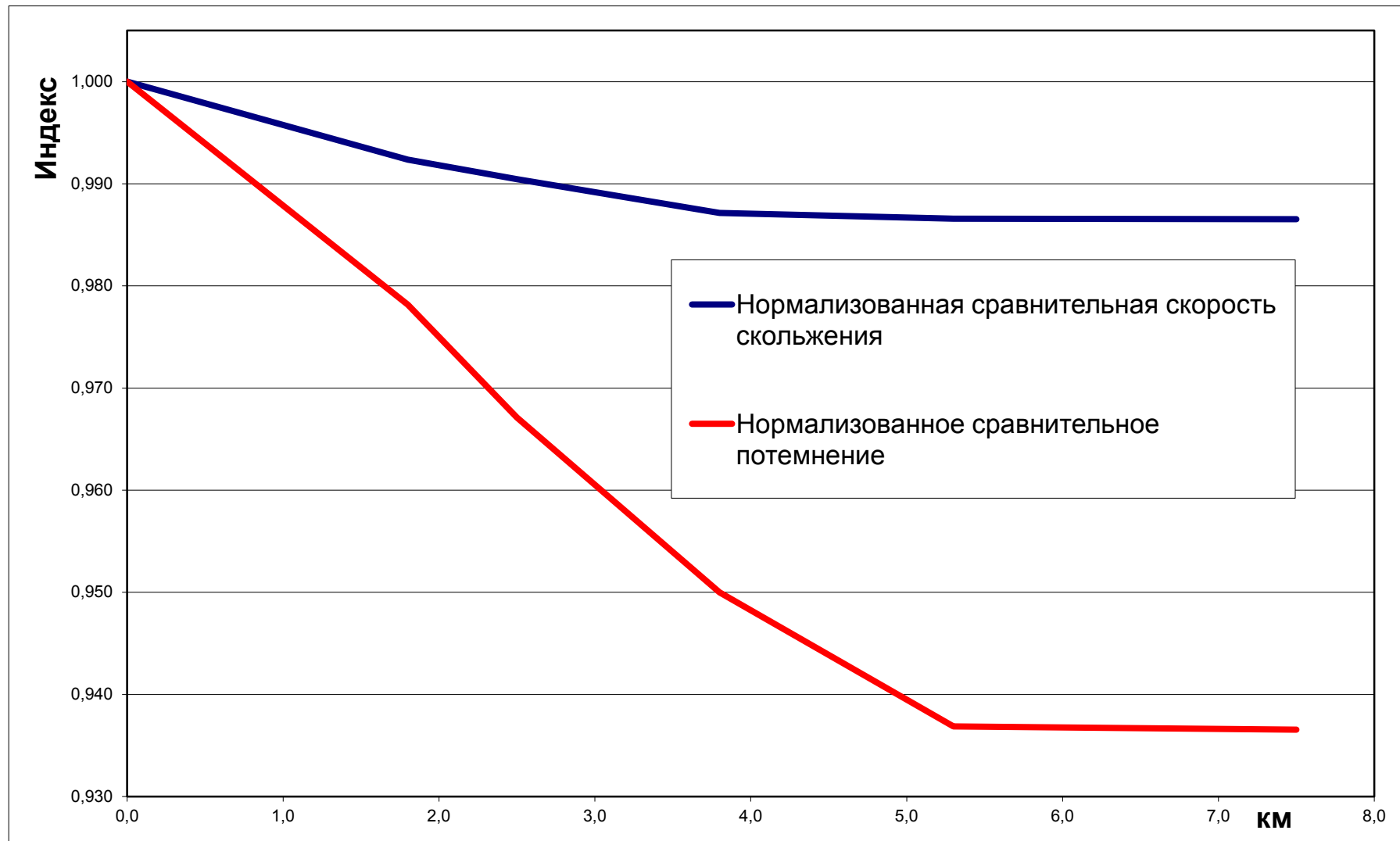


Цикленая СПЛ - 3,8 km



Swix CH8 - 3,8 km

Ф-Х обработка СПЛ – развитие



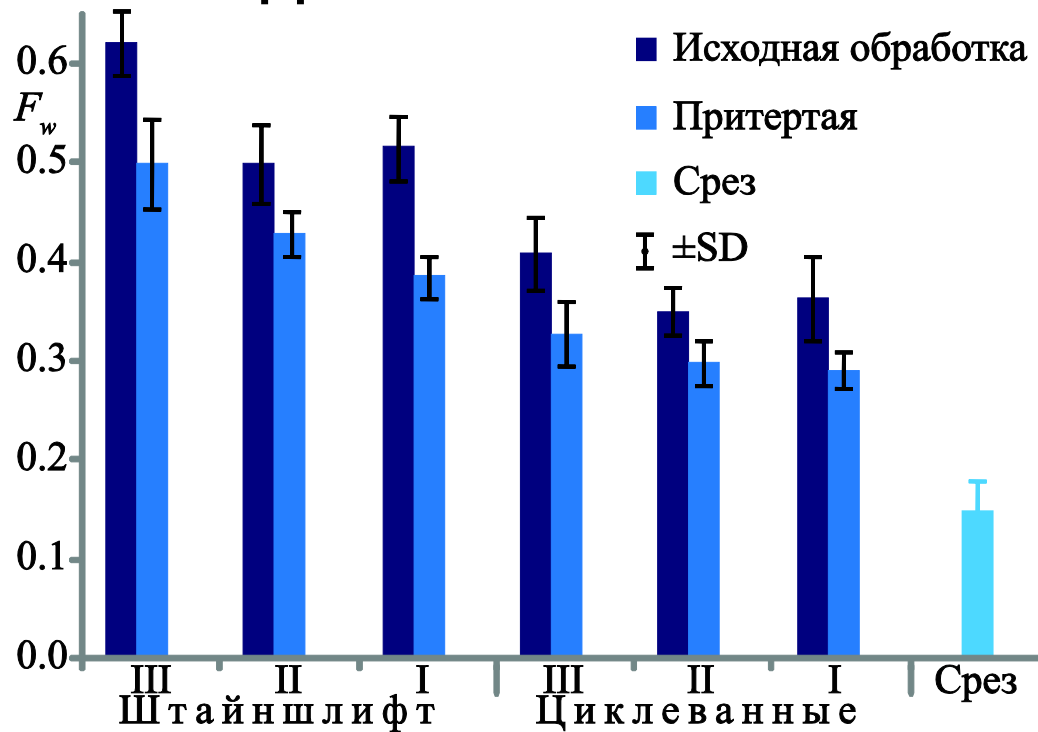
Топография СПЛ – развитие

- ▶ SUN, D. C. 1978. “Практически для всех комбинаций соотношений длин, структуры влияют на увеличение грузоподъемности, **увеличение трения** и уменьшение циркуляции смазки”



Топография СПЛ – развитие

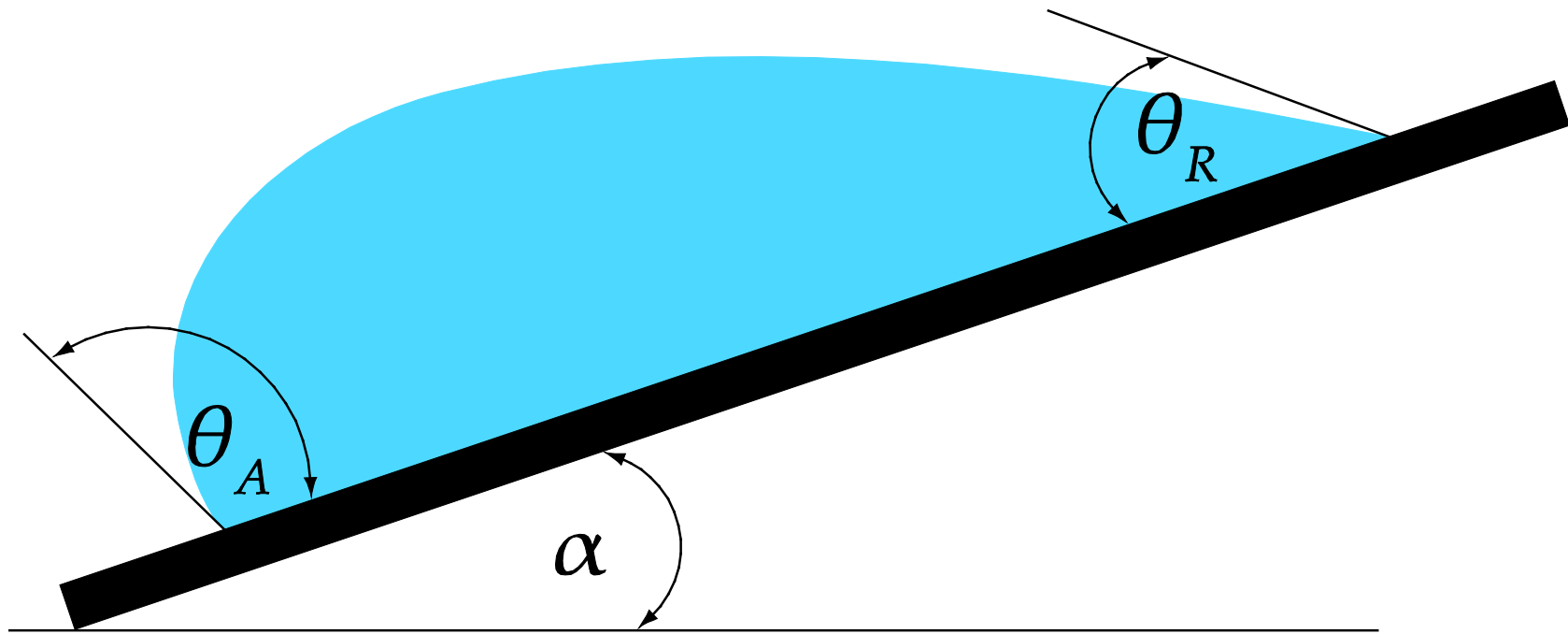
- Идеальная СПЛ для мокрого снега – это абсолютно гладкая поверхность, если все происходит в условиях постоянного контакта с водой.



Фактор смачивания (F_w) для P-Tech® 2000 СПЛ (прозрачная)

Топография СПЛ – развитие

- ▶ Степень смачиваемости (капиллярное взаимодействие) прямо влияет на движение капли воды по наклонной поверхности.



Топография СПЛ – развитие

$$\Delta \cos = \cos \theta_R - \cos \theta_A$$

- ▶ Для получения степени скользкости поверхности с большей точностью, чем просто $\Delta \cos$, я предложил безразмерный фактор смачивания как функция экспериментально определяемых углов смачивания (наступающий и отступающий).

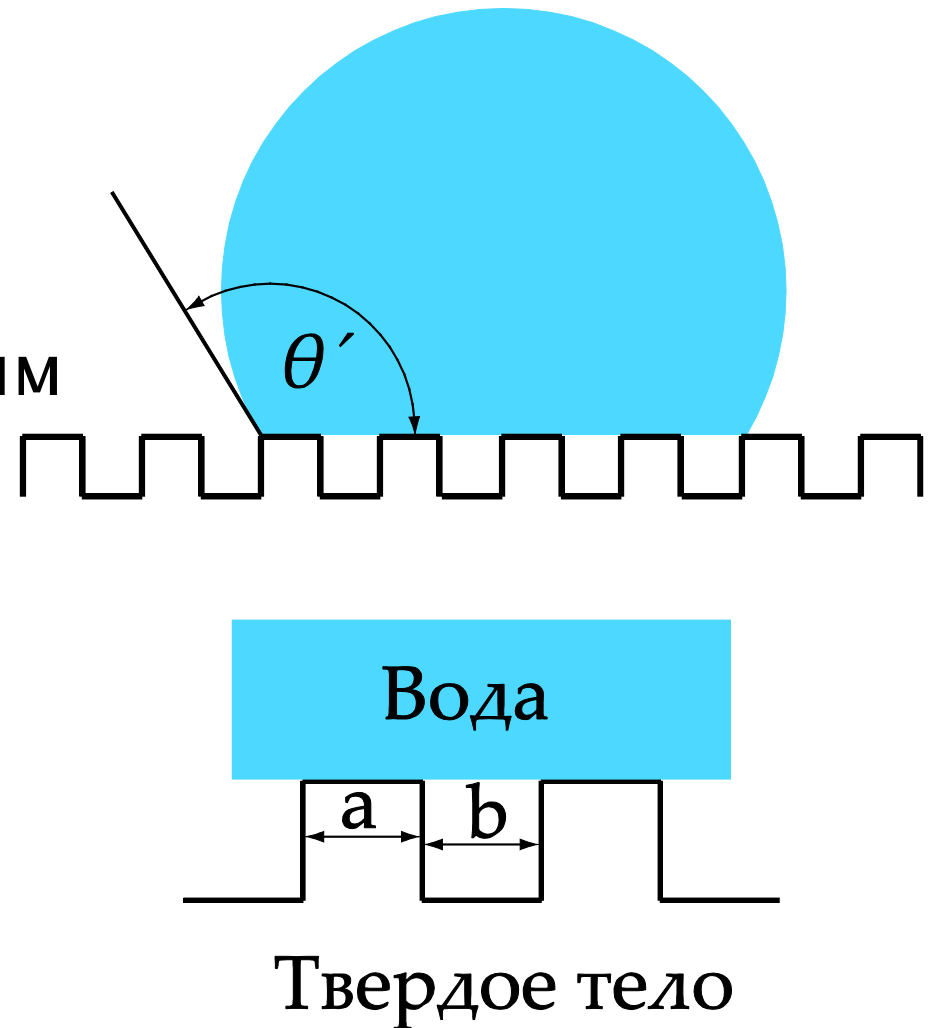
$$F_w = (\cos \theta_R - \cos \theta_A) \sqrt[3]{(\cos \theta_A + \cos \theta_R + 2) \frac{\sqrt{8 - 2(\cos \theta_A + \cos \theta_R)^2}}{9 - (\cos \theta_A + \cos \theta_R + 1)^2}}$$

Топография СПЛ – развитие

- ▶ Большинство известных структур для получения супергидрофобности плохо применимы для нужд лыжников в условиях мокрого снега. Они все имеют высокую степень шероховатости, которая должна увеличивать гистерезис смачивания и угол баланса α , и как результат этого, увеличивать значение «подсоса». А «волосатая» природа таких структур будет увеличивать сбор грязи из снега.

Топография СПЛ – развитие

- ▶ Если мы хотим уменьшить трение скольжения лыж при мокром снеге, мы должны получить режим Касси–Бакстера для контакта между СПЛ и снегом. Или, другими словами, получить неоднородную зону смачивания



Топография СПЛ – развитие

- ▶ В реальной жизни мы имеем дело с неидеально выровненной лыжной трассой, а вода, имеющаяся в снегу, и снег имеют вкрапления пузырьков воздуха, какое-то количество воздуха растворено в воде. Это означает, что СПЛ не находится в постоянном контакте с водой – появляется возможность выхода воды из структур, и попадания туда воздуха.



Топография СПЛ – развитие

- ▶ Для минимизации капиллярного сопротивления при мокром снеге, мы должны создать на СПЛ такие структуры, которые максимально гладкие (полированные) на микроуровне и достаточно грубые на макроуровне для создания зон неоднородного смачивания.



Выводы

- ▶ Наблюдается ярко выраженная стагнация в области исследований скольжения лыж по снегу. Это происходит как минимум в последние 35 лет.
- При переходе с деревянных лыж с пластиковые не был пересмотрен процесс подготовки лыж. Пористая и гидрофильная деревянная СПЛ должна была пропитываться каким-либо водоотталкивающим составом для получения удовлетворительного скольжения. Непористая и в высшей степени гидрофобная полиэтиленовая СПЛ, по какой-то необъяснимой причине должна тоже «пропитываться»..



Выводы – материал СПЛ

- ▶ Чистый без добавок СВМПЭ с максимально возможным молекулярным весом;
- ▶ СВМПЭ, усиленный частицами квазикристаллов;
- ▶ ПТФЭ с разветвленной (с поперечными связями) молекулярной структурой (для всех видов снега);
- ▶ Стандартный ПТФЭ (Teflon®) для мокрого снега;
- ▶ Для условий холодного сухого снега заменить добавки сажи в СПЛ на интенсивный черный краситель.

Выводы – Ф–Х обработка СПЛ

- ▶ Парафины могут применяться исключительно с целью коррекции (выравнивания) неоптимальной топографии СПЛ;
- ▶ Фторуглероды могут применяться на недостаточно свежую СПЛ с целью улучшения химии внешнего слоя, особенно для спринтерских дистанций;
- ▶ Имеет смысл пересмотреть применение мазей скольжения с учетом их высокого риска для здоровья и вреда для окружающей среды;

Выводы – Топография СПЛ

- ▶ Разработка машин и ручных приспособлений, способных создавать адекватные структуры, но не генерировать нежелательный микроворс;
- ▶ Машины и ручные приспособления, способные создавать истинные х-образные и другие непродольные структуры;
- ▶ Методы и приборы для создания случайных структур, ограниченных некоторыми заданными параметрами (частично контролируемые);
- ▶ Методы, машины и ручные приспособления, способные производить кратеро-подобные структуры для холодного и сухого снега;

Приятные новости

An Investigation Comparing the Efficacy of Different Lubricants for Skis on Artificial Snow | Coupe | Enquiry - The ACES Journal of Undergraduate Research, Vol 1, No 1 (2008)

An Investigation Comparing Lubricants for Skis on Artificial Snow

Richard Coupe

Abstract
Whilst the earliest skis were made of wood, modern skis are made of a variety of materials. This study investigated the efficacy of different lubricants for skis on artificial snow. The results show that the use of a wax containing a fluoropolymer significantly improved the glide of the skis and that the use of a wax containing a fluoropolymer and a paraffin wax significantly improved the glide of the skis.

Introduction

There is evidence from over 5000 years. Skis have been used since the first period of the first ice age in the Alps, in 1893, in the form of laminated wood. In 1905, the first day skis were made of extruded polyethylene. The development of extruded polyethylene construction of skis has led to the use of aluminium and carbon fibre in the construction of skis. This has led to a decrease in the weight of the skis and an increase in the glide of the skis. However, the use of a wax containing a fluoropolymer and a paraffin wax has been shown to significantly improve the glide of the skis.

Modern day additives such as

Original Article

Towards a methodology for comparing the effectiveness of different alpine ski waxes

Richard C. Coupe^{1,2} and Stephen J. Spella¹

(1) Mathematics Group, Faculty of ACES, Sheffield Hallam University, City Centre, Sheffield, S1 3JD, UK

(2) Present address: Department of Chemical and Process Engineering, University of Sheffield, Sheffield, S1 3JD, UK

Richard C. Coupe
Email: r.coupe@shu.ac.uk

Published online: 25 November 2009

Abstract
The aim of this work is to develop a methodology for the comparison of the effectiveness of different alpine ski waxes. The methodology involves the use of a series of test runs over a 50-m course. The test runs were conducted on waxed and unwaxed skis. The results show that the use of a wax containing a fluoropolymer significantly improved the glide of the skis.

1 Introduction

Alongside the development of alpine and Nordic ski-racing and alpine and Nordic ski-racing, the use of wax has become an essential part of the skier's equipment. The use of wax has been shown to significantly improve the glide of the skis.

Modern composite skis are made of carbon fibre and Kevlar. The use of wax has been shown to significantly improve the glide of the skis. However, the use of a wax containing a fluoropolymer and a paraffin wax has been shown to significantly improve the glide of the skis.

Polymers on Snow: Towards skiing faster

Diss. ETH No. 18857

Polymers on Snow: Toward Skiing Faster
JAN L. GIESBRECHT, PAUL SMITH, THEO A. TERVOORT
Department of Materials, ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland
Received 4 January 2010; revised 4 March 2010; accepted 8 March 2010
DOI: 10.1002/polb.23333
Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).

ABSTRACT: In this study, small-scale model skis (having down a 10° angle) were used to investigate the tribological processes occurring at the interface between the ski and the snow. It was found that the ski-snow interface is characterized by a thin layer of water. The thickness of this layer is dependent on the temperature of the snow and the speed of the skier. The results show that the use of a wax containing a fluoropolymer significantly improved the glide of the skis.

A dissertation submitted to ETH ZURICH

ETH ZURICH

for the degree of Doctor of Science

presented by Jan Lukas Giesbrecht

Dipl. Werkstoffingenieur
born May 1981
citizen of Bern

accepted on the 25th of November 2009

Prof. Paul
Prof. Nicholas D. Spencer
Dr. Leon E. Govaert, co-examiner
Dr. Theo A. Tervoort, co-examiner
Michael Jufer, co-examiner

2010

INTRODUCTION

In the continued quest to reduce friction between the ski and the snow, the ski industry has developed a variety of waxes. The use of wax has been shown to significantly improve the glide of the skis. However, the use of a wax containing a fluoropolymer and a paraffin wax has been shown to significantly improve the glide of the skis.

EXPERIMENTAL

For the majority of the experiments, we adopted the approach of Bowden and Hughes^{1,2} and constructed small-scale sliders (Fig. 2(a)) of a length of 25 cm and a width of 5 cm to match the width of a Nordic ski track. They were built with aluminium (alloy AlMg1-MnZn) and a reflective flag was mounted on top for rate-detection purposes. The weights were fitted in a central position onto the slider; the face pressure (ca. 1.3 kPa) is comparable to the surface pressures during actual skiing. It should be noted that at the temperatures where most experiments were conducted around -3 °C, the influence of surface pressure on the friction

KEYWORDS

films; friction; microstructure; plastic; snow

INTRODUCTION

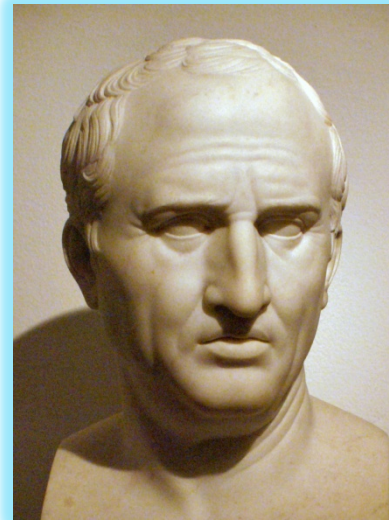
In the continued quest to reduce friction between the ski and the snow, the ski industry has developed a variety of waxes. The use of wax has been shown to significantly improve the glide of the skis. However, the use of a wax containing a fluoropolymer and a paraffin wax has been shown to significantly improve the glide of the skis.

EXPERIMENTAL

For the majority of the experiments, we adopted the approach of Bowden and Hughes^{1,2} and constructed small-scale sliders (Fig. 2(a)) of a length of 25 cm and a width of 5 cm to match the width of a Nordic ski track. They were built with aluminium (alloy AlMg1-MnZn) and a reflective flag was mounted on top for rate-detection purposes. The weights were fitted in a central position onto the slider; the face pressure (ca. 1.3 kPa) is comparable to the surface pressures during actual skiing. It should be noted that at the temperatures where most experiments were conducted around -3 °C, the influence of surface pressure on the friction

•---:25 апреля 2012, Омск. Поверхностное трение скольжения лыж: природа, пути и методы его улучшения -- Леонид Кузьмин ---:--

•Kuzmin Ski Technology AB. Карлстад, Швеция



Марк Туллий Цицерон

"Не стыдно ли человеку науки, т.е. исследователю и испытателю природы, искать свидетельство истины в душах, поработанных обычаем?" – Цицерон.

Спасибо за внимание

