

УДК 685.363.2.017.3

Н. Ю. Шелемет, А. С. Чуйков

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ВНУТРЕННЯЯ КОНСТРУКЦИЯ
И МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ
СПОРТИВНО-БЕГОВЫХ ЛЫЖ (ОБЗОР)**

Статья включает обзор конструктивных элементов и материалов современных спортивно-беговых лыж в зависимости от стиля катания и уровня подготовки спортсмена. Приведены значения массы и ширины спортивного инвентаря для спортсменов различных категорий. Также описаны требования, предъявляемые к прочности и упругости. Рассмотрены особенности эксплуатации спортивно беговых лыж, которые связаны с тем, что данный спортивный инвентарь используется в неблагоприятных условиях окружающей среды. Поэтому приведены эпюры распределения нагрузки по длине лыжи, создаваемой спортсменом во время езды классическим, коньковым или комбинированным ходом. Также представлены эпюры распределения нагрузки на спортивный инвентарь в теплую и холодную погоду. Рассмотрены основные типы конструкций, применяемые в современных спортивно-беговых лыжах: «сэндвич», КЭП и гибридная, а также основные компоненты их внутреннего строения. Кроме того, описаны способы достижения хорошего скольжения. Были выявлены преимущества, получаемые спортсменом при использовании более легкого спортивного инвентаря. Установлено, что при прочих равных условиях средний клин оказывает наибольшее влияние на массу изделия. В связи с этим проанализированы способы, материалы и основные конструкционные решения, необходимые для облегчения данного элемента. Для достижения поставленной цели возможно использование в конструкции лыжи древесины низкой плотности, изготовление полостей в материале клина, а также применение различных композиционных материалов.

Ключевые слова: лыжи, спортивно-беговые, масса, конструкция, материалы, строение, эпюра, требования, характеристики, жесткость, длина, прочность, упругость.

Для цитирования: Шелемет Н. Ю., Чуйков А. С. Особенности эксплуатации, внутренняя конструкция и материалы, применяемые для облегчения спортивно-беговых лыж (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 173–182. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-20.

N. Yu. Shelemet, A. S. Chuikov

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF OPERATION, INTERNAL STRUCTURE AND MATERIALS USED
TO LIGHTEN SPORTS-CROSS-COUNTRY SKIS (REVIEW)**

The article includes an overview of the structural elements and materials of modern cross-country skiing, depending on the style of skiing and the level of training of the athlete. The values of the weight and width of sports equipment for athletes of various categories are given. The requirements for strength and elasticity are also described. The features of the operation of sports cross-country skis are considered, which are related to the fact that this sports equipment is used in unfavorable environmental conditions. In this regard, the diagrams of the load distribution along the length of the ski created by the athlete while riding a classic, skate or combined course are given. Diagrams of the distribution of the load on sports equipment in warm and cold weather are also presented. The main types of structures used in modern cross-country skiing are considered: sandwich, CAP and hybrid, as well as the main components of their internal structure. In addition, the ways of achieving a good slip are described. The advantages obtained by the sportsman when using lighter sports equipment were revealed. It was found that, all other things being equal, the average wedge has the greatest effect on the mass of the product. In this regard, the methods, materials and basic structural solutions necessary to facilitate this element are analyzed. To achieve this goal, it is possible to use low-density wood in the ski design, manufacture cavities in the wedge material, as well as the use of various composite materials.

Keywords: skis, cross-country skiing, weight, design, materials, structure, diagram, requirements, characteristics, rigidity, length, strength, elasticity.

For citation: Shelemet N. Yu., Chuikov A. S. Features of operation, internal structure and materials used to lighten sports-cross-country skis (review). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 173–182. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-20 (In Russian).

Введение. Во всем мире лыжный спорт стал одним из самых популярных видов зимних соревнований. Он подходит практически всем, поскольку нет более доступного, столь тесно связанного с природой и настолько полезного для человека вида спорта. Появление лыж было обусловлено потребностью человека добывать на охоте пищу зимой и передвигаться по местности, занесенной снегом [1].

Лыжи появились повсеместно, где жил человек в условиях снежной зимы. Первые лыжи были ступающие. Одна из последних находок (А. М. Микляев, 1982 г.) обнаружена на территории Псковской области. По заключению специалистов, эта лыжа является одной из самых древних – сделана около 4300 лет назад [2].

Существенное развитие лыжного инвентаря началось в 70-х годах XX века. В 1974 г. произошла революция в производстве беговых лыж – появились первые пластиковые лыжи. Вскоре трассы стали готовить машинным способом, они стали шире и жестче, что в начале 80-х годов привело к появлению конькового хода, основателем которого считается знаменитый шведский лыжник Гунде Сван. В 90-х годах в производстве лыж появилась САР-технология (происходит от английского слова *sar* – «крышка»), лыжи конструкции «сэндвич» начали отходить в прошлое. На данный момент большинство современных беговых лыж состоят из среднего клина, армированного сверху оболочкой, поверхность которой может иметь трехмерную форму, а также скользящего слоя. Изменилась и геометрия лыж – она перестала быть параллельной. Компании-производители по сей день находятся в постоянном поиске оптимального профиля лыжи, а расчеты характеристик новых моделей все больше приближены к аэрокосмическим и «формульным» технологиям [3].

Беговые лыжи предназначены для перемещения по относительно ровной местности за счет использования энергии лыжника. Они позволяют передвигаться по заснеженной местности на малые и средние расстояния (до 50 км), а также длинные (до нескольких сотен километров) с высокой скоростью.

В лыжном спорте масса спортивного инвентаря является очень важным параметром для спортсмена, так как при ее уменьшении человек будет меньше уставать, сохраняя свои силы, а также с уменьшением массы лыжи, увеличивается скорость, развиваемая человеком. Вследствие чего, используя более легкий спортивный инвентарь, лыжник будет получать существенные преимущества относительно соперника, имеющего такое же снаряжение, но с большей массой [4].

В связи с этим анализ способов снижения массы спортивно-беговых лыж позволит в дальнейшем

разработать облегченную конструкцию данного спортивного инвентаря и наладить производство отечественного продукта, востребованного у спортсменов и способного конкурировать с зарубежными аналогами.

Основная часть. Современные спортивно-беговые лыжи в зависимости от стиля катания подразделяются на следующие типы [5]:

- для классического хода;
- для конькового хода;
- комбинированные;
- туристические.

Классический бег на лыжах, или классический ход, – это традиционная техника движения, с которой и началась дисциплина. Обычно классический бег заключается в ходьбе по двум параллельным колеям (лыжне). Лыжи для классического хода длиннее, чем коньковые (205–207 см). Они также имеют более длинный и острый носок и обладают жесткостью примерно в 2 раза меньшей, чем лыжи для конькового хода. Это необходимо для того, чтобы при толчке лыжи касались снега средней частью, на которой нанесены мазь держания или насечки. Благодаря их использованию лыжи не будут проскальзывать назад во время толчка. В то же время лыжи для классического хода должны обладать достаточной жесткостью, иначе во время скольжения колодки с держащей мазью или насечками будут препятствовать скольжению и тормозить лыжника [6].

Коньковый ход – один из способов перемещения на лыжах. Изначально применялся в беговых лыжах для прохождения поворотов, для подъема в гору (подъем «елочкой») и как специальное подготовительное упражнение при изучении и совершенствовании техники классического попеременного двушажного хода. Действия лыжника при передвижении коньковым ходом напоминают движения конькобежца – отсюда и пошло название хода. Коньковые лыжи отличаются от классических. Они более короткие, их максимальная длина 190–192 см, и жестче на скручивание и в продольном направлении. В отличие от классической коньковой лыжи во время толчка ногой не должна полностью касаться снега средней частью (нужный зазор 2–3 мм), иначе снижается эффективность отталкивания. Спортивный инвентарь для конькового хода можно отличить по тупому мыску [7–9].

Комбинированные лыжи предназначены для катания коньковым и классическим ходом. Они имеют максимальную длину, не превышающую 200 см. Производить комбинированные лыжи длиной более 200 см нецелесообразно, это связано с тем, что при движении коньковым ходом их пятки будут цепляться друг за друга. По своей конструкции они ближе к классическим, потому что позволяют передвигаться коньковым ходом,

в то время как на коньковых лыжах не получится перемещаться классическим ходом. Это связано с высокой жесткостью колодки (части лыжи под ботинком), вследствие чего у лыжника будет отсутствовать фаза отталкивания [10].

Туристические лыжи предназначены для лыжных походов в условиях, где нет специальных трасс. Данный спортивный инвентарь имеет усиленную конструкцию, широкую (более 59 мм) скользящую поверхность – для передвижения по бездорожью (целине). В некоторых моделях лыжи укрепляют металлическим кантом. Это сравнительно дорогой спортивный инвентарь, который проходит целый ряд специальных тестов на надежность, поскольку от их качества зависит успех похода или экспедиции, а иногда и жизнь человека [11].

По уровню подготовки спортивно-беговые лыжи подразделяют на следующие группы [12]:

- для начинающих;
- среднего уровня;
- экспертного уровня;
- для спортсменов.

Лыжи для начинающих предназначены для людей имеющих минимальный опыт катания. Их отличительные особенности – увеличенная ширина (от 45 до 59 мм) и относительно большая масса (от 1,4 до 1,7 кг). Такие лыжи универсальные и имеют сравнительно низкую стоимость. Для их удешевления применяют менее дорогие материалы, так как при их эксплуатации не требуется достижение высоких скоростей. Часто у беговых лыж начального уровня применяется колодка с насечкой «по wax» (или еще ее называют «чешуя»), которая не требует применения мази держания при передвижении классическим ходом. Такой спортивный инвентарь имеет меньшую жесткость по сравнению с лыжами для более подготовленных спортсменов. Это сделано для того, чтобы начинающий спортсмен прикладывал меньше усилий при катании [13–15].

Лыжи среднего уровня предназначены для людей, имеющих отработанные базовые навыки владения ими. Отличительной особенностью такого спортивного инвентаря является более спортивная геометрия: они имеют ширину 44–48 мм, масса составляет 1,3–1,4 кг, а их жесткость увеличена на 10–20% по сравнению с лыжами начального уровня. При их изготовлении применяют улучшенные слои скольжения и сердечники, чтобы обеспечить лыжнику возможность большей динамичной работы и более долгого скольжения в фазе толчка. Реже применяется технология «по wax». Беговые лыжи среднего уровня представлены моделями для всех стилей катания: конькового, классического и комбинированного хода [16,17].

Лыжи для экспертов предназначены для людей, имеющих хорошо поставленную и отработанную технику катания в различных условиях, а также для спортсменов в качестве тренировочного спортивного инвентаря. Они имеют низкую массу (1,1–1,3 кг) и высокую жесткость. Их изготавливают из высококачественных материалов. Стоит отметить, что среди лыж экспертного уровня нельзя встретить комбинированные, так как они – это компромисс, который не позволяет быстро двигаться ни коньковым, ни классическим ходом. Тем более в данном спортивном инвентаре не применяется технология безмазевое держания «по wax». Верхние модели экспертных лыж изготавливаются в двух вариантах жесткости, которая отличается приблизительно на 10–20%. Это делается для того, чтобы лыжник мог подобрать для себя более подходящее для него соотношение (длина лыжи / жесткость), соответствующее его уровню подготовки [18–20].

Лыжи, ориентированные на профессиональных спортсменов, обладают высокой жесткостью и предназначены для быстрой езды и участия в соревнованиях. Данный спортивный инвентарь имеет массу от 0,95 до 1,1 кг. Кроме того, что лыжи для спортсменов изготавливаются в нескольких вариантах жесткости, их исполняют в двух-трех вариантах распределения веса лыжника по длине спортивного инвентаря и в двух вариантах скользящей поверхности (для теплой и холодной погоды). Также могут применяться различные варианты структур скользящей поверхности, улучшающие прокатку в различных температурных условиях и при разных типах снега [21–23].

К спортивно-беговым лыжам предъявляются определенные требования. Они должны иметь необходимую прочность и упругость, а также устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды, таким как температура и влажность. Прочность и упругость лыжи в большей степени зависят от ее конструкции и используемых материалов. Лыжа должна обладать такой упругостью, при которой она полностью выпрямится, если оказать на нее давление, создаваемое половиной массы спортсмена, т. е. на ровной площадке под весом человека скользящие поверхности спортивного инвентаря должны полностью соприкасаться со снегом [24–26].

Скользящая поверхность в современных спортивно-беговых лыжах изготавливается из АБС-пластика или полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы UHMW-PE. Для достижения уменьшения трения о снег она не должна иметь шероховатостей, царапин, вырывов. Спортивный инвентарь не должен иметь коробления. Скользящая поверхность должна быть гладкой и тщательно отполированной. Грузовая площадка лыжи

должна располагаться таким образом, чтобы создаваемое давление приходилось больше на заднюю, укороченную часть лыжи. С одной стороны, данное решение позволяет лучше разрезать и подминать снег, а с другой – не нарушает прямолинейности скольжения, облегчая выполнение поворота [27–29].

Для участия в соревнованиях лыжи спортсменов должны соответствовать определенным требованиям: их минимальная длина должна составлять величину роста спортсмена минус 40 мм. Максимальная длина спортивного инвентаря не ограничивается. Минимальная ширина лыжи, измеренная под креплением, должна быть не менее 40 мм, максимальная также не ограничивается. Общий вес пары лыж без креплений должен быть не менее 750 г [30, 31].

Подбор оптимальных характеристик беговой лыжи обеспечивает отличное скольжение при конкретных условиях. Принято считать, что 60% скользящих свойств лыж определяются распределением нагрузки по длине (эпюрой), прогибом и жесткостью, еще 20% – материалом, состоянием и структурой скользящей поверхности, оставшиеся 20% – смазкой [32].

Эпюра показывает распределение веса человека на снег через лыжу. Она наглядно демонстрирует характеристики спортивного инвентаря, определяющие скольжение лыж в разных условиях. Их различают в зависимости от типа бега (коньковые, классические, прогулочные) и температурных условий (холодные, теплые, комбинированные). На рис. 1 показана эпюра лыж для классического хода [33].

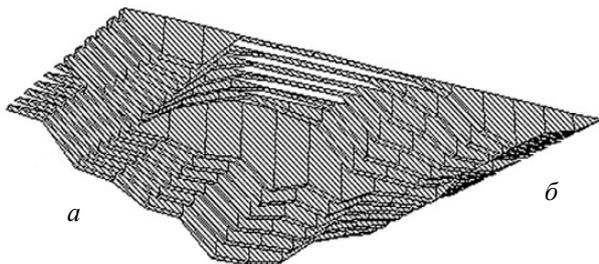


Рис. 1. Эпюра лыж для классического хода:
а – носок лыжи; б – пятка лыжи

В верхней части рисунка показано распределение давления при скольжении на двух лыжах (давление под колодкой отсутствует). В нижней части изображено распределение давления при толчке, во время которого в районе колодки спортивного инвентаря создается максимальная нагрузка на снег.

На рис. 2 представлена эпюра лыж для конькового хода [34].

Из эпюры видно, что у коньковой лыжи нагрузка распределяется по поверхности совершенно

иначе. Во время толчка (нижняя часть рисунка) она приходится на два мощных «бугра», в то время как средняя часть спортивного инвентаря при толчке почти не загружена. При прокатке (верхняя часть рисунка) давление в центральной части лыжи отсутствует.

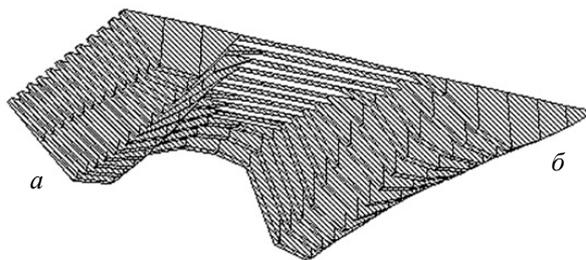


Рис. 2. Эпюра лыж для конькового хода:
а – носок лыжи; б – пятка лыжи

Поскольку комбинированные лыжи считаются универсальными, то их эпюра имеет вид, приближенный к классическому ходу. Это дает возможность использовать их для классического хода. В противном случае лыжа под колодкой не будет оказывать существенного давления на снег и будет проскальзывать при толчке [35].

Рассмотрим два основных типа эпюр в зависимости от температурных условий: COLD-эпюра, подходящая для беговых лыж в морозную погоду и лыж, имеющих меньшую жесткость, и WARM-эпюра, подходящая для теплой погоды и спортивного инвентаря, обладающего большей жесткостью. Разница COLD- и WARM-эпюр состоит в остроте пиков давления и в длине участка лыжи, который вовлечен в скольжение.

COLD-эпюра (рис. 3) имеет увеличенные по длине и более низкие по значению пики давления под передней и задней частями лыжи, вследствие чего вес спортсмена распределяется более равномерно. Благодаря этому в холодную погоду снижается действие силы сухого трения [36].

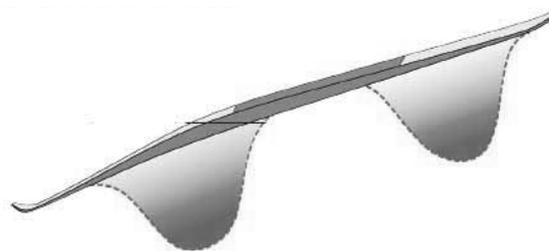


Рис. 3. Эпюра распределения нагрузки на холодной лыже (COLD)

WARM-эпюра (рис. 4) имеет уменьшенные по длине и увеличенные по значению пики давления. Такое распределение нагрузки уменьшает силу влажного трения, которое создает основное сопротивление на теплой лыже за счет уменьше-

ния площади контакта со снегом и снижения эффекта «подсасывания». На жесткой лыже WARM-эпюра предпочтительнее, так как повышается контроль лыжи за счет вдавливания поверхности лыжи в снег.



Рис. 4. Эпюра распределения нагрузки на теплой лыже (WARM)

Распространены также лыжи с комбинированной эпюрой. В ней пик давления, приходящийся на носок спортивного инвентаря, острый, а на пятке пологий. Также эпюра может иметь и промежуточные характеристики [37].

Спортивно-беговые лыжи в зависимости от материалов, из которых они изготовлены, делятся на три класса: деревянные, пластиковые и древесно-пластиковые [38].

Основные составляющие внутренней конструкции спортивно-беговой лыжи представлены на рис. 5 [39].

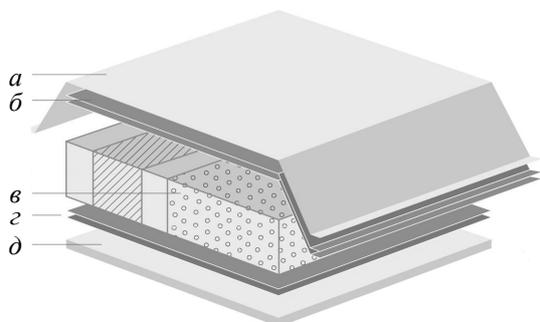


Рис. 5. Конструкция спортивно-беговой лыжи:
а – верхняя крышка; б – армирующий слой;
в – средний клин; з – склеивающий слой;
д – скользящая поверхность

Существует три основных типа внутренней конструкции спортивно-беговых лыж (рис. 6):

- «сэндвич»;
- кэп (*cap*);
- гибридная.

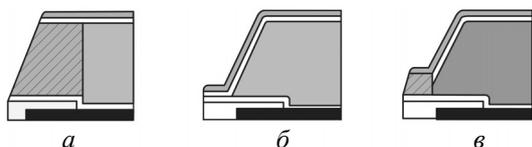


Рис. 6. Типы конструкции спортивно-беговых лыж:
а – «сэндвич»; б – кэп; в – гибридная

Конструкция «сэндвич» состоит из среднего клина из древесины или древесно-композиционного материала, который можно дополнительно армировать угле- и стекловолокном. Сверху приклеивают крышку, а боковые стенки «сэндвича» закрывают отдельным элементом из прочной породы древесины, ABS-пластика или другого армирующего материала, который выполняет защитную функцию, а также усиливает жесткость и упругость лыжи. Считается, что такая конструкция наиболее устойчива к нагрузкам [40].

В лыжах с конструкцией кэп средний клин накрывают крышкой, которая загибается на края спортивного инвентаря до канта скользящей поверхности или соединяется с ней. При таком исполнении лыжи боковые стенки являются продолжением монолитной верхней части. Такое решение позволяет уменьшить массу изделия и его стоимость. Недостатком данной конструкции является меньшая торсионная и продольная жесткость [41].

Гибридная конструкция представляет собой комбинацию первых двух вариантов. При таком исполнении центральная часть лыжи может быть выполнена по типу «сэндвича», а носок и хвост – в виде «кэпа». Для спортивного инвентаря заданной конструкции характерна средняя торсионная жесткость [42].

При прочих равных условиях существенное значение для спортивного инвентаря имеет средний клин. Именно различия в материалах и конструкциях этого элемента влияют на вес и физико-механические показатели спортивно-беговых лыж. В связи с этим для снижения их веса главное внимание нужно уделить способам облегчения среднего клина.

Основным материалом, из которого изготавливается средний клин, является древесина различных пород: ясень, клен, тополь, осина, бальса, а также композиционные материалы на их основе. Одним из путей снижения массы клина является выборка материала, которую можно осуществлять в продольном, поперечном направлении или под углом. Удалять материал можно на высоту всего элемента или на определенную величину (рис. 7). Для того чтобы выяснить, какой из способов позволит уменьшить массу среднего клина, при этом сохранив показатели прочности и упругости на должном уровне, необходимо провести дополнительные исследования [43, 44].

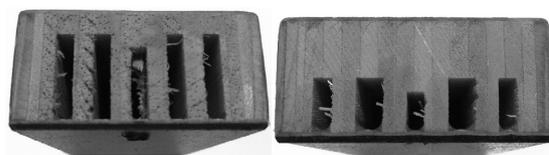


Рис. 7. Пример средних клиньев из древесины с воздушными каналами различной высоты

Еще одним способом уменьшения массы лыжи является использование в ее конструкции в качестве среднего клина древесины низкой плотности – бальсы, которая составляет 120–160 кг/м³. Физико-механические свойства данной древесины неоднородны. В свежесрубленном виде бальса содержит до 95% воды, она очень тяжелая, однако быстро теряет влажность после валки дерева и дальнейшей усушки. В краже у комля и в ядре древесина плотная и довольно крепкая. Плотность может доходить до 0,3 г/см³. Молодая заболонь очень легкая, с плотностью 0,1 г/см³ [45, 46].

Кроме того, можно комбинировать древесину различных пород, располагая ее в среднем клине слоями поочередно или в определенной последовательности, используя более прочный материал, например древесину клена, в одном слое и более мягкий (бальсу) в другом, соединяя между собой с помощью клея и образуя тем самым облегченный композиционный материал, обладающий новыми свойствами.

Производители спортивного инвентаря достигают высоких показателей механических и эксплуатационных свойств, сохраняя при этом легкость изделия. Как правило, это происходит за счет использования композиционных многокомпонентных материалов, состоящих из древесной основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, сотовых пластов, вспененных материалов, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др. Подбирая состав, свойства наполнителя и матрицы, а также их соотношение и ориентацию, можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических характеристик. Свойства полученного в результате объединения материала сильно отличаются от свойств его компонентов по отдельности [47].

Рассмотрим несколько вариантов композиционных материалов для облегчения среднего клина.

В качестве наполнителя в таких материалах используют сотовые пласти – анизотропные материалы, свойства которых зависят от исходных компонентов, толщины, размеров и структуры получаемых ячеек, направления приложения нагрузки. Они обладают высокой прочностью при сжатии и сдвиге. Сотовая структура представляет собой тип ячеистых материалов с регулярными и периодически повторяющимися наборами ячеек различной формы, образованных между тонкими вертикальными стенками. Ячейки в основном имеют шестиугольную форму или расположены в виде столбцов. Жесткость сотовых конструкций позволяет использовать меньше материала и снизить массу. Сотовые материалы широко применяются для изготовления плоских и изогнутых поверхностей. Сотовые пласти могут за-

нимать как всю высоту среднего клина, так и его определенную величину (рис. 8) [48].



Рис. 8. Пример средних клиньев, изготовленных с применением сотовых наполнителей

Для изготовления сотовых наполнителей используют различные виды материалов:

- картон;
- алюминий;
- нержавеющую сталь;
- арамид;
- кевлар;
- термопластики.

Наполнителем в композиционном материале, позволяющем облегчить конструкцию спортивного инвентаря, могут также выступать вспененные материалы (пенопласты, поропласты) [49].

В качестве вспененного материала при изготовлении среднего клина могут применять пенополиуретан – это синтетическое вещество ячеистой структуры из группы газонаполненных пластмасс. По сути, пенополиуретан можно охарактеризовать как разновидность пластмассы. Основным сырьем, используемым для получения пенополиуретана, являются ди- и триизоцианаты и полиолы. Другие технологические добавки вводятся для изменения свойств полимера [50].

Все способы и материалы, описанные выше, применяемые для уменьшения массы среднего клина можно комбинировать между собой для того, чтобы достигнуть наилучшего результата.

Заключение. В зависимости от условий эксплуатации существует несколько типов спортивно-беговых лыж, каждому из которых присущи определенные особенности. Кроме того, к ним предъявляются различные требования, которые также зависят от уровня подготовки спортсмена. Одним из важнейших параметров в лыжах является их масса, которая в большей степени зависит от внутренней конструкции и материалов, используемых для изготовления среднего клина. Для снижения веса данного элемента могут применяться различные конструктивные решения и композиционные материалы на основе древесины. Однако необходимо учесть, что некоторые из них могут оказывать негативное влияние на физико-механические свойства лыжи, например, уменьшают ее жесткость. На основании сказанного выше, дальнейшее комбинирование и создание новых композиционных материалов позволит разработать конструкцию и технологию производства

облегченных спортивно-беговых деревопластиковых лыж с сохранением основных физико-механических свойств на требуемом уровне, а так-

же снизить нагрузку на спортсменов, что в свою очередь, позволит обеспечить достижение более высоких спортивных результатов.

Список литературы

1. Триченков В. А., Манкевич О. А. Лыжный спорт в Республике Беларусь. Могилев: МГУ им. А. А. Кулешева, 2016. 100 с.
2. Лыжный спорт // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/Лыжный_спорт (дата обращения: 27.02.2023).
3. История беговых лыж: от истоков и до наших дней // RedBull. URL: <https://www.redbull.com/ru-ru/skiing-history> (дата обращения: 27.02.2023).
4. Беговые лыжи // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беговые_лыжи_спорт (дата обращения: 27.02.2023).
5. Полховский А. В., Прохорчик С. А., Шетько С. В. Современные конструкции и материалы для лыж // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 169–175.
6. Обзор: типы и характеристики беговых лыж // Горные вершины. URL: <https://mountainpeaks.ru/reviews/begovye-lyzhi/on-the-types-and-characteristics-of-the-cross-country-ski-trail/> (дата обращения: 27.02.2023).
7. Газизов В. Г. Лыжный спорт: все о коньковом ходе. Казань: Казан. гос. ун-т, 2018. 105 с.
8. Коньковый ход // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Коньковый_ход (дата обращения: 27.02.2023).
9. Разница коньковых и классических лыж // AIRFIT. URL: <https://airfit.ru/classicorskate> (дата обращения: 27.02.2023).
10. Особенности комбинированных лыж // VPLATE. URL: <https://vplate.ru/lyzhi/kombinirovannye> (дата обращения: 27.02.2023).
11. Конструктивные особенности туристических лыж // Спорт-Марафон. URL: <https://sport-marafon.ru/article/kak-vybrat-turisticheskie-lyzhi> (дата обращения: 27.02.2023).
12. Классификация и особенности беговых лыж // Барс. URL: <https://bars.su/articles/klassifikatsiya-i-osobennosti-begovykh-lyzh/> (дата обращения: 27.02.2023).
13. Как выбрать беговые лыжи // Спортмастер. URL: https://www.sportmaster.ru/media/articles/11560563/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 27.02.2023).
14. Лыжи. Технические условия: ГОСТ 17043–1990. М.: Из-во стандартов, 1990. 16 с.
15. Аналитический метод расчета на жесткость и прочность спортивно-беговой пластиковой лыжи / А. Л. Наркевич [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 2. С. 72–79.
16. Основные критерии выбора беговых лыж // Клуб. URL: <https://ozon.by/club/article/osnovnyye-kriterii-vybora-begovykh-lyzh-5022/> (дата обращения: 27.02.2023).
17. Как выбрать беговые лыжи // FIVESPORT.RU. URL: <https://www.five-sport.ru/blogs/stati-i-obzory/kak-vybrat-begovye-lyzhi-sovety-dlya-novichkov> (дата обращения: 27.02.2023).
18. Виды и стили катания на беговых лыжах // Prokatstyle. URL: <https://prokatstyle.ru/vidy-begovih-lyzh> (дата обращения: 27.02.2023).
19. Классические беговые лыжи // СПОРТДЕПО. URL: https://www.sportdepo.ru/catalog/begovye-lyzhi/ekipirovka/lyzhi-begovye/lyzhi-klassicheskie/?PAGEN_1=1 (дата обращения: 27.02.2023).
20. How to Choose the Right Equipment for Cross-Country Skiing // Sportsexperts. URL: <https://www.sportsexperts.ca/en-CA/blog/training-tips/Cross-Country-Skiing> (дата обращения: 27.02.2023).
21. Коротко о беговых лыжах // КАНТ. URL: <https://www.kant.ru/articles/390999/> (дата обращения: 27.02.2023).
22. Как выбрать беговые лыжи // Спортмастер, 2023. URL: <https://www.sportmaster.ru/media/articles/37020381> (дата обращения: 27.02.2023).
23. Cross-country skiing (sports) // Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country_skiing_\(sport\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country_skiing_(sport)) (дата обращения: 27.02.2023).
24. Полховский А. В., Прохорчик С. А. Основные требования, предъявляемые к спортивно-беговым лыжам. Методика испытаний лыж // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 1. С. 174–178.
25. Cross-country skis – Determination of mass and location of balance point: ISO 7138:2017. Standards Publishing, 2017. 8 p.
26. Cross-country skis – Determination of elastic properties: ISO 7139:2017. Standards Publishing, 2017. 10 p.

27. Что такое структура скользящей поверхности // Спортивная Линия. URL: https://skiline.ru/sport-technology/1264-what_is_the_structure_of_the_sliding_surface_of_the_ski (дата обращения: 27.02.2023).
28. Ducret S. Friction and abrasive wear of UHMWPE sliding on ice // *Wear*. 2005. No. 258 (1-4). P. 26–31.
29. Леонид Кузьмин. Поверхностное трение скольжения лыж: природа, пути и методы его улучшения // *Ski Service*. URL: <https://www.service4ski.ru/poverhnochnoe-trenie-skolzheniya-lyzh-priroda-puti-i-metody-ego-uluchsheniya/> (дата обращения: 27.02.2023).
30. Лыжи для соревнований // Судебные и нормативные акты РФ. URL: https://sudact.ru/law/pravila-vida-sporta-strelba-iz-luka-utv/prilozhenie-a/3_4/3.1_2/3.1.1/ (дата обращения: 27.02.2023).
31. Лыжи. Определение массы и положения центра тяжести: ГОСТ 30199–94. М.: Изд-во стандартов, 1995. 7 с.
32. Классификация беговых лыж // Спорт-лидер.рф. URL: <http://sportleader.ru/article2.php> (дата обращения: 27.02.2023).
33. Лыжи для любителей // *Ski.ru*. URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/lyzhi-dlya-lyubitelei/> (дата обращения: 27.02.2023).
34. Жесткость лыж фишер // *Yogagorod*. URL: <https://yogagorod.ru/zhestkost-lyzh-fisher-tablica-konkovyi-vse-o-cifrah-na-lyzhah-fischer/> (дата обращения: 27.02.2023).
35. Идеальная эюра коньковых лыж // *Лыжный спорт*. URL: <https://www.skisport.ru/forum/cross-country/77195/> (дата обращения: 27.02.2023).
36. Все о цифрах на лыжах Fischer: структуры, эюры, HR, FA, SVZ // *Training365*. URL: <https://training365.ru/vse-o-cifrah-na-lyzhah-fischer/> (дата обращения: 27.02.2023).
37. Отличия классических, коньковых и комбинированных беговых лыж // *ПроДвиж*. URL: <https://prodvizh.com/articles/razlichiya-lyzh> (дата обращения: 27.02.2023).
38. Разработка конструкции облегченных спортивно-беговых пластиковых лыж / А. В. Полховский [и др.] // *Нефтехимия – 2020: материалы III Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазоперераб.*, Минск, 2–3 дек. 2020 г. Минск, 2020. С. 164–167.
39. Конструкции беговых лыж Fischer, Atomic и Salomon // *ЮВЕНТАСПОПТ*. URL: https://www.uventasport.ru/contents/view/konstrukcii_begovyh_lyzh_fischer_atomic_i_salomon (дата обращения: 27.02.2023).
40. Строение горных лыж или что такое конструкции сайдвол (Sidewall) и кэп (cap) // *YOURSKI.RU*. URL: <https://www.yourski.ru/article/stroenie-gornykh-lyzh-ili-chto-takoe-konstrukcii-saydvoll-sidewall-i-ker-cap> (дата обращения: 27.02.2023).
41. Типы и характеристики беговых лыж и техники передвижения // *Дзен*. URL: <https://dzen.ru/a/YSu-AvSZGCIaKKh> (дата обращения: 27.02.2023).
42. *Ski construction* // *OutdoorGearExchange*. URL: <https://www.gearx.com/blog/knowledge/skiing/ski-construction/> (дата обращения: 27.02.2023).
43. Жук О. С. Конструкция среднего клина облегченной спортивно-беговой лыжи и технология его производства с применением методов аддитивного синтеза // *Тез. докл. 73-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов*, Минск, 18–23 апр. 2022 г.: в 4 ч. Ч. 2. Минск, 2022. С. 275.
44. Лыжи // *Wikipedia*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лыжи> (дата обращения: 27.02.2023).
45. Бальза // *WOODSTOCK*. URL: https://www.woodstock.su/porody-drevesiny/balza_balsa (дата обращения: 27.02.2023).
46. Бальса // *Wikipedia*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бальса> (дата обращения: 27.02.2023).
47. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2013. 118 с.
48. Гиясов Б. И., Серегин Н. Г., Серегин Д. Н. Трехслойные панели из полимерных композиционных материалов. М.: Изд-во АСВ, 2015. 64 с.
49. Сотопласты // *StudRef*. URL: <https://studref.com/687172/stroitelstvo/sotoplasty> (дата обращения: 27.02.2023).
50. Harris J. K., Rumack B. H., Aldrich F. D. Toxicology of urea-formaldehyde and polyurethane foams insulation // *J. am Med. Assoc.* 1981. No. 245 (3). P. 243–246.

References

1. Trichenkov V. A., Mankevich O. A. *Lyzhnyy sport v Respublike Belarus* [Skiing in the Republic of Belarus]. Mogilev, Kuleshev Mogilev State University Publ., 2016. 100 p. (In Russian).
2. Skiing. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Лыжный_спорт (accessed 27.02.2023) (In Russian).
3. History of cross-country skiing: from the origins to the present day. Available at: <https://www.redbull.com/ru-ru/skiing-history> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
4. Cross-country skiing. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беговые_лыжи_sport (accessed 27.02.2023) (In Russian).

5. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shetko S. V. Modern constructions and materials for skis. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, issue 1, Forest Management. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no.1 (216), pp. 169–175 (In Russian).
6. Review: types and characteristics of cross-country skiing. Available at: <https://mountainpeaks.ru/reviews/begovye-lyzhi/on-the-types-and-characteristics-of-the-cross-country-ski-trail/> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
7. Gazizov V. G. *Lyzhnyy sport: vse o kon'kovom khode* [Skiing. All about skating]. Kazan, Kazanskiy gosudarstvennyy universitet Publ., 2018. 105 p. (In Russian).
8. Skating. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Skate_hod (accessed 27.02.2023) (In Russian).
9. The difference between skate and classic skis. Available at: <https://airfit.ru/classicorskate> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
10. Features of combined skis. Available at: <https://vplate.ru/lyzhi/kombinirovannye> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
11. Design features of tourist skis. Available at: <https://sport-marafon.ru/article/kak-vybrat-turisticheskie-lyzhi> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
12. Classification and features of cross-country skiing. Available at: <https://bars.su/articles/klassifikatsiya-i-osobennosti-begovykh-lyzh/> (accessed 02.27.2023) (In Russian).
13. How to choose cross-country skis. Available at: https://www.sportmaster.ru/media/articles/11560563/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed 27.02.2023) (In Russian).
14. GOST 17043–1990. Skiing. Technical specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990. 16 p. (In Russian).
15. Narkevich A. L., Polkhovsky A. V., Shetko S. V., Prokhorchik S. A. Analytical method for calculating the stiffness and strength of a sports-running plastic ski. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2021, vol. 7, no. 2, pp. 72–79 (In Russian).
16. Basic criteria for choosing cross-country skis. Available at: <https://ozon.by/club/article/osnovnye-kriterii-vybora-begovykh-lyzh-5022> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
17. How to choose cross-country skis. Available at: <https://www.five-sport.ru/blogs/stati-i-obzory/kak-vybrat-begovye-lyzhi-sovety-dlya-novichkov> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
18. Types and styles of cross-country skiing. Available at: <https://prokatstyle.ru/vidy-begovykh-lyzh/> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
19. Classic cross-country skiing. Available at: https://www.sportdepo.ru/catalog/begovye-lyzhi/ekipirovka/lyzhi-begovye/lyzhi-klassicheskie/?PAGE_1=1 (accessed 27.02.2023) (In Russian).
20. How to choose the right equipment for cross-country skiing. Available at: <https://www.sportsexperts.ca/en-CA/blog/training-tips/Cross-Country-Skiing> (accessed 27.02.2023).
21. Briefly about cross-country skiing. Available at: <https://www.kant.ru/articles/390999> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
22. How to choose cross-country skis. Available at: <https://www.sportmaster.ru/media/articles/37020381> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
23. Cross-country skiing (sport). Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country_skiing_\(sport\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country_skiing_(sport)) (accessed 27.02.2023).
24. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A. The main requirements for cross-country skiing. Ski testing methodology. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 174–178 (In Russian).
25. ISO 7138:2017. Cross-country skiing – Determination of the mass and location of the equilibrium point. Standards Publishing, 2017. 8 p.
26. ISO 7139:2017. Cross-country skiing – Determination of elastic properties. Standards Publishing, 2017. 10 p.
27. What is the structure of the sliding surface. Available at: <https://skiline.ru/sport-technology/1264-what-is-the-structure-of-the-sliding-surface-of-the-ski> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
28. Ducret S. Friction and abrasive wear of UHMWPE sliding on ice. *Wear*, 2005, no. 258 (1-4), pp. 26–31.
29. Leonid Kuzmin. Surface friction of ski sliding: nature, ways and methods of its improvement. Available at: <https://www.service4ski.ru/poverhnostnoe-trenie-skolzheniya-lyzh-priroda-puti-i-metody-egouluchsheniya/> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
30. Skiing for competitions. Available at: https://sudact.ru/law/pravila-vida-sporta-strelba-iz-luka-utv/prilozhenie-a/3_4/3.1_2/3.1.1 (accessed 27.02.2023) (In Russian).
31. GOST 30199–94. Skiing. Determination of the mass and position of the center of gravity. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 7 p. (In Russian).
32. Classification of cross-country skiing. Available at: <http://sportleader.ru/article2.php> (accessed 27.02.2023) (In Russian).

33. Skiing for amateurs. Available at: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/lyzhi-dlya-lyubitelei> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
34. Rigidity of fischer skis. Available at: <https://yogagorod.ru/zhestkost-lyzh-fisher-tablica-konkovyi-vse-o-cifrah-na-lyzhah-fischer> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
35. The ideal plot of skating skis. Available at: <https://www.skisport.ru/forum/cross-country/77195> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
36. All about figures on Fischer skis: structures, plots, HR, FA, SVZ. Available at: <https://training365.ru/vse-o-cifrah-na-lyzhax-fischer> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
37. Differences of classic, skating and combined cross-country skiing. Available at: <https://prodvizh.com/articles/razlichiya-lyzh> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
38. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shetko S. V., Ruchkina E. V. Constructions of lightweight sports and cross-country plastic skis Development. *Neftekhimiya – 2020: materialy III Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke* [Petrochemistry – 2020: materials of the III International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing]. Minsk, 2020, pp. 164–167 (In Russian).
39. Designs of cross-country skis Fischer. Atomic and Salomon. Available at: https://www.uventasport.ru/contents/view/konstrukcii_begovyh_lyzh_fischer_atomic_i_salomon (accessed 27.02.2023) (In Russian).
40. The structure of mountain skis or what is the sidewall (Side wall) and cap (lid) structures. Available at: <https://www.yourski.ru/article/stroenie-gornyx-lyzh-ili-chto-takoe-konstrukcii-saydvol-sidewall-i-kep-cap> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
41. Types and characteristics of cross-country skis and movement techniques. Available at: <https://dzen.ru/a/YCu-AvSZGCIAKKKh> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
42. Ski construction. Available at: <https://www.gearx.com/blog/knowledge/skiing/ski-construction/> (accessed 27.02.2023).
43. Zhuk O. S. The design of the middle wedge of lightweight cross-country skiing and the technology of its production using methods of additive synthesis. *Tezisy dokladov 73-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii uchashchikhsya, studentov i magistrantov* [Abstracts of 73rd scientific-technical conference of students, undergraduates and undergraduates]. Minsk, 2022, part 2, p. 275 (In Russian).
44. Skiing. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лыжа> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
45. Balsa. Available at: https://www.woodstock.su/porody-drevesiny/balza_balsa (accessed 27.02.2023) (In Russian).
46. Balsa. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бальса> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
47. Bondaletova L. I., Bondaletov V. G. *Polimernyye kompozitsionnyye materialy (chast' 1)* [Polymer composite materials (part 1)]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2013. 118 p. (In Russian).
48. Giyasov B. I., Seregin N. G., Seregin D. N. *Trekhsloynnyye paneli iz polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Three-layer panels made of polymer composite materials]. Moscow, ASV Publ., 2015. 64 p. (In Russian).
49. Sotoplasts. Available at: <https://studref.com/687172/construction/sotoplastika> (accessed 27.02.2023) (In Russian).
50. Harris J. K., Rumak B. H., Aldrich F. D. Toxicology of urea-formaldehyde and polyurethane foam insulation. *J. am Med. Assoc.*, 1981, no. 245 (3), pp. 243–246.

Информация об авторах

Шелемет Никита Юрьевич – аспирант кафедры технологии дизайна и изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nikitashelemet88@gmail.com

Чуйков Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru

Information about the authors

Shelemet Nikita Yurievich – PhD student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nikitashelemet88@gmail.com

Chuikov Aleksey Sergeevich – PhD (Engineering), Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru

Поступила 20.03.2023