

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 685.363.22.2

А. В. Полховский, С. А. Прохорчик, С. В. Шетько, Е. В. Ручкина
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПОРТИВНО-БЕГОВЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ЛЫЖ

Содержание статьи посвящено исследованию материалов, входящих в состав конструкции беговых лыж.

В статье проведен обзор основных материалов, входящих в состав спортивно-беговых пластиковых лыж. Для верхнего декоративного слоя используются в основном АБС-пластики. Для скользящего слоя применяют полиэтилен. Для среднего клина может быть использована древесина, сотовый наполнитель, вспененный наполнитель или различные комбинации этих материалов. Для придания лыжам высокой жесткости могут применяться армирующие материалы, такие как стекловолокно, углеволокно, арамид.

В статье приведены результаты исследований лыж нескольких известных мировых производителей. В данных образцах лыж был проведен анализ породного состава древесины клина. Проведена идентификация химического состава и определена температура плавления скользящих полимерных материалов, входящих в состав лыж. Анализ породного состава проводился при помощи оптического микроскопа, идентификация химического состава проводилась методом инфракрасной спектроскопии, температура плавления скользящих полимерных слоев лыж определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

На основании обзора материалов в открытых источниках и результатов проведенных исследований образцов спортивно-беговых пластиковых лыж иностранных производителей определены самые распространенные материалы, входящие в состав спортивно-беговых пластиковых лыж. К ним относятся древесина лиственных пород, полиэтилен, АБС-пластик, эпоксидная смола и стекловолокно.

Целью данной статьи является изучение современных материалов, используемых при изготовлении спортивно-беговых пластиковых лыж, для подбора и изготовления возможных отечественных аналогов.

Ключевые слова: лыжи, древесина, пластик, полиэтилен, стеклоткань, эпоксидная смола.

A. V. Polkhovskiy, S. A. Prokhorchik, S. V. Shet'ko, E. V. Ruchkina
Belarusian State Technological University

RESEARCH OF MATERIALS USED FOR MANUFACTURING SPORTS-RUNNING PLASTIC SKIS

The content of the article is devoted to the study of materials included in the design of cross-country skiing.

The article provides an overview of the basic materials that make up sports-running plastic skis. For the upper decorative layer, ABS plastics are mainly used. For the sliding layer, polyethylene is used. For an average wedge, wood, honeycomb aggregate, foamed aggregate, or various combinations of these materials may be used. Reinforcing materials such as fiberglass, carbon fiber, aramid can be used to give the ski high rigidity.

The article presents the results of ski studies of several world famous manufacturers. In these ski samples, an analysis was made of the species composition of the wedge wood. The chemical composition has been identified and the melting temperature of the sliding polymer materials that make up the skis has been determined. The analysis of the breed composition was carried out using an optical

microscope, the chemical composition was identified by infrared spectroscopy, the melting temperature of the sliding polymer layers of the skis was determined by differential scanning calorimetry.

Based on a review of materials in open sources and the results of studies of samples of sports-running plastic skis of foreign manufacturers, the most common materials that are part of sports-running plastic skis are identified. These include hardwood, polyethylene, ABS plastic, epoxy and fiberglass.

The purpose of this article is to study modern materials used in the manufacture of sports-running plastic skis for the selection and manufacture of possible domestic analogues.

Key words: skis, wood, plastic, polyethylene, fiberglass, epoxy.

Введение. Лыжи – это изделие, предназначенное для передвижения по снегу, представляющее собой две длинные планки с загнутыми и заостренными носками.

Существует много разновидностей лыж, например: горные, спортивно-беговые, гоночные, туристические. Они имеют примерно одинаковые конструкции, а именно клееные многослойные, что наиболее выгодно с эксплуатационной, технологической и экономической точек зрения. Это связано с тем, что к лыжам предъявляют в определенной мере противоречивые требования – максимальная прочность при минимальной массе и высокой упругости [1]. Применение конструкции, состоящей из слоев, изготовленных из различных материалов, позволяет обеспечить решение этой задачи.

Существует множество конструкций лыж, имеющих различия в количестве, конфигурации слоев, применяемых материалах и технологии изготовления.

Целью данной статьи является изучение современных материалов, используемых при изготовлении спортивно-беговых пластиковых лыж, для подбора и изготовления возможных отечественных аналогов.

Основная часть. Основными материалами, из которых изготавливают лыжи, являются пластик и древесина, но деревянные лыжи на сегодняшний момент почти полностью ушли в прошлое. Это связано с тем, что пластик по сравнению с древесиной обладает рядом существенных преимуществ. К таким преимуществам можно отнести то, что пластик не впитывает в себя влагу и, соответственно, не трескается в результате многократных намоканий и высыханий, пластик более прочный и пластичный, обладает большей долговечностью. Также следует учесть такое преимущество пластика, как легкость по сравнению с древесиной. Низкая масса лыжи имеет высокое значение для соревнований. На данный момент единственным конструктивным элементом лыжи, в котором используется древесина, является клин.

Современные лыжи представляют собой высокотехнологичные конструкции, в основе которых лежит сочетание современных материалов и высоких технологий, позволяющих без снижения жесткости и прочности достигнуть минимального значения массы [2]. Для этого каждый слой спортивно-беговой лыжи выполняется из материала, обладающего определенными свойствами. На рис. 1 приведено изображение структуры лыжи.

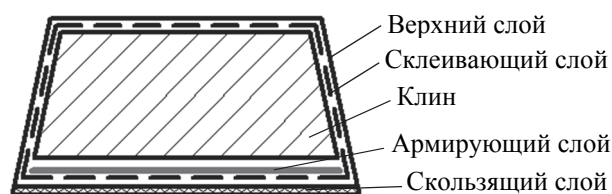


Рис. 1. Внутренняя структура лыжи

Верхний слой лыжи, служащий защитой для клина и основой для нанесения рисунков, выполняется из пластика. Одна из крупных компаний на рынке пластиковых композиционных материалов австрийская компания ISOSPORT производит несколько линеек поверхностных пленок (ISOCAP), предназначенных для изготовления лыж. Данные пленки можно разделить на две группы: прозрачные и непрозрачные. Они обладают необходимыми механическими и температурными свойствами. Также следует отметить высокие адгезионные свойства с системами эпоксидных смол, что имеет важное значение при склеивании лыжи. Геометрические свойства (перекашивание, плоскостность) обеспечивают необходимые условия обработки во время изготовления лыж [3].

Для изготовления скользящего слоя (базы) лыжи применяется полиэтилен. На сегодняшний момент существует два типа технологий получения скользящей поверхности: extruded (получаемая прогонкой через валики расплавленной массы полиэтилена) и sintered (спекание из мелкогранулированного полиэтилена) [4].

Первая база не требует практически никакого ухода и легко ремонтируется: царапины

на ней заделываются расплавленной полиэтиленовой свечкой. Такая база имеет очень низкую себестоимость [4].

Компания ISOSPORT (Австрия) имеет большой выбор экструдированных и спеченных лыжных баз. Продукция компании состоит из восьми семейств лыжных баз (ISO-SPEED) [5].

Для придания дополнительной жесткости в конструкции лыж предусматривают применение армирующих материалов. К ним относятся специальные ткани: стекловолокно, углеволокно, арамид. Для требуемого распределения жесткости использует ткани с различным направлением волокон. Продольное расположение волокон ткани задает продольную жесткость, а также повышает прочность лыжи на излом. Диагональное расположение волокон позволяет добиться усиления торсионной жесткости, почти не затрагивая продольную [6].

Фирма HEXCEL (США) является крупным мировым производителем композиционных материалов. В частности, интерес представляют препреги HexPly с армированием HexFogse: мультиоксиальными тканями или однонаправленными материалами в различной форме [7].

Клин лыжи является ее основой. Он обладает большим выбором вариантов конструкций с применением широкого перечня материалов. Конструкция и материал клина зависят в первую очередь от уровня лыжи и фирмы-производителя, так как на сегодняшний момент существует большое число лыжных брендов, каждый из которых обладает собственной линейкой конструкций. Среди материалов для клина можно выделить древесину, гофрокартон (для сотового сердечника), пенополиуритан (сердечник из вспененных материалов). Также клин может представлять собой комбинацию из нескольких материалов.

Важным моментом при исследовании материалов для разработки конструкции лыжи является изучение уже существующих аналогов. Для этих целей были взяты образцы лыж трех крупных производителей: № 1, 2, 3.

В указанных образцах были проведены анализ пород древесины и идентификация химического состава и температуры плавления скользящих полимерных слоев, входящих в состав образцов.

Определение породного состава проводилось при помощи оптического микроскопа. В ходе эксперимента оценивали продольные и поперечные срезы выбранных образцов, которые были выпилены на круглопильном

станке. На рис. 2, 3 и 4 представлены поперечные срезы образцов лыж.



Рис. 2. Поперечный срез образца № 1

Анализ породного состава образца № 1 показал, что деревянная часть лыжи была изготовлена из древесины осины.

Анализ породного состава образца № 2 показал, что деревянная часть лыжи состоит из трех разных пород древесины, а именно бука, тополя и березы.

Как видно на рисунке, внутренняя часть образца № 2 представляет собой слоистую конструкцию из нескольких пород древесины, для снижения массы лыжи в клине сделаны пропилы.

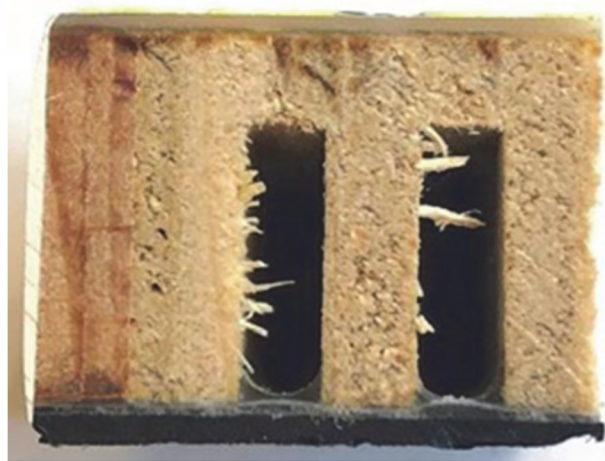


Рис. 3. Поперечный срез лыжи образца № 2

Анализ поперечного среза образца № 3 показал, что внутренняя часть лыжи имеет комбинированную структуру. Клин состоит из слоя разнотолщинного бумажного ячеистого наполнителя (гофрокартона), к которому приклеены ламели, изготовленные из древесины осины.



Рис. 4. Поперечный срез образца № 3

Как видно из результатов исследования, во всех образцах в конструкции клина применяется древесина, в двух из них использовалась древесина осины. Это может быть вызвано тем, что осина обладает низкой плотностью (около 500 кг/м^3), которая влияет на массу лыжи, и однородной структурой.

Для исследование химического состава материалов применялся метод *инфракрасной спектроскопии*. Исследования проводились при помощи ИФ микроскопа Nicolet iN-10, Thermo Nicolet.

Согласно результатам исследований образца № 1, в качестве материала для клина использовалась древесина лиственных пород. Древесина применялась в качестве формообразующего материала и для жесткости самой лыжи. Для придания лыже жесткости и прочности в продольном направлении применялся слой стеклоткани. Основными компонентами в составе стекловолокна в пересчете на оксиды являются: SiO_2 – 63,19 мас. %; CaO – 21,13 мас. %; Al_2O_3 – 15,67 мас. %.

В качестве клея использована эпоксидная смола. Покрытие верхней части представляет собой сополимер полиэтилена и полипропилена. Основу скользящей поверхности лыжи составляет полиэтилен. Полимерные вставки в носке и пятке изготовлены из АБС-пластика.

На рис. 5 приведены структура и состав армирующего слоя образца № 1.

Для придания прочности и жесткости в продольном направлении используется слой стеклоткани. Основными компонентами в составе стекловолокна в пересчете на оксиды являются: SiO_2 – 55,46 мас. %; CaO – 33,41 мас. %; Al_2O_3 – 11,13 мас. %.

Исследования образца № 2 показали, что в качестве клина использована древесина лиственных пород. Древесина применялась в качестве формообразующего материала и для жесткости самой лыжи.

Покрытие верхней части представляет собой эпоксидную смолу на основе акрилового полимера. В качестве клея использована фенольная смола. Под слоем краски расположен слой АБС-пластика. Основу скользящей поверхности лыж составляет полиэтилен. Полимерные вставки в носке (длина 7 см) и пятке (длина 2 см) изготовлены из полиамида и АБС-пластика.

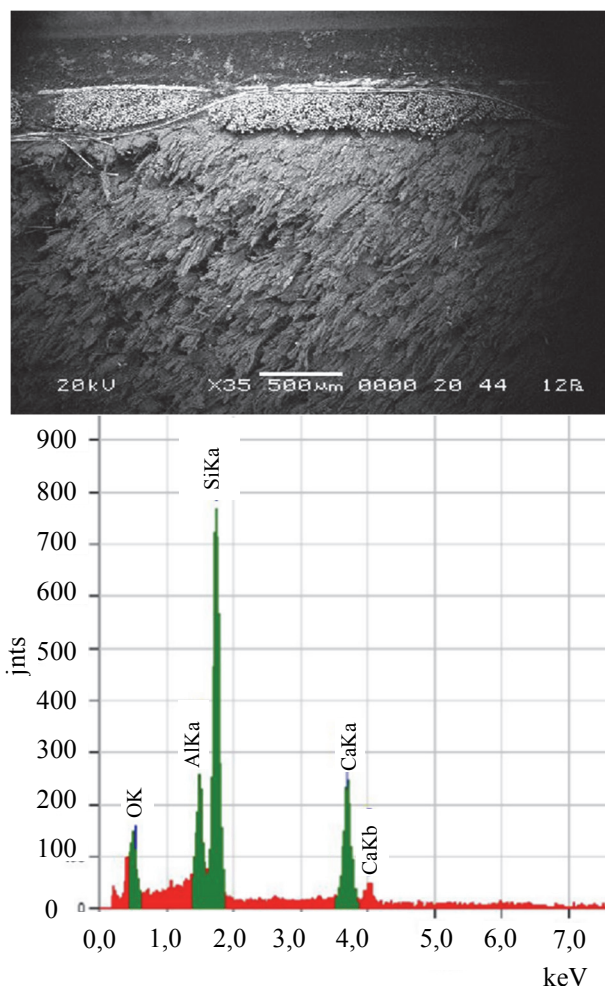


Рис. 5. Структура и состав армирующего слоя образца № 1

На рис. 6 приведены структура и состав армирующего слоя образца № 2.

Образец № 3 имеет клин из сотового материала, основу которого представляет гофрокартон. В качестве несущего слоя использована древесина лиственных пород. Древесина и гофрокартон применяются в качестве формообразующего материала и для жесткости самой лыжи, для придания прочности и жесткости в продольном направлении используется слой стеклоткани. Основными компонентами в составе стекловолокна в пересчете на оксиды являются: Al_2O_3 – 15,65 мас. %; SiO_2 – 62,65 мас. %; CaO – 21,70 мас. %.

В качестве клея использована эпоксидная смола. Покрытие верхней части представляет собой АБС-пластик. Боковая сторона покрыта модифицированным сополимером стирола и акрила. Основу скользящей поверхности составляет полиэтилен. Полимерные вставки в носке (длина 15 см) и пятке (длина 23 см) изготовлены из модифицированного АБС-пластика.

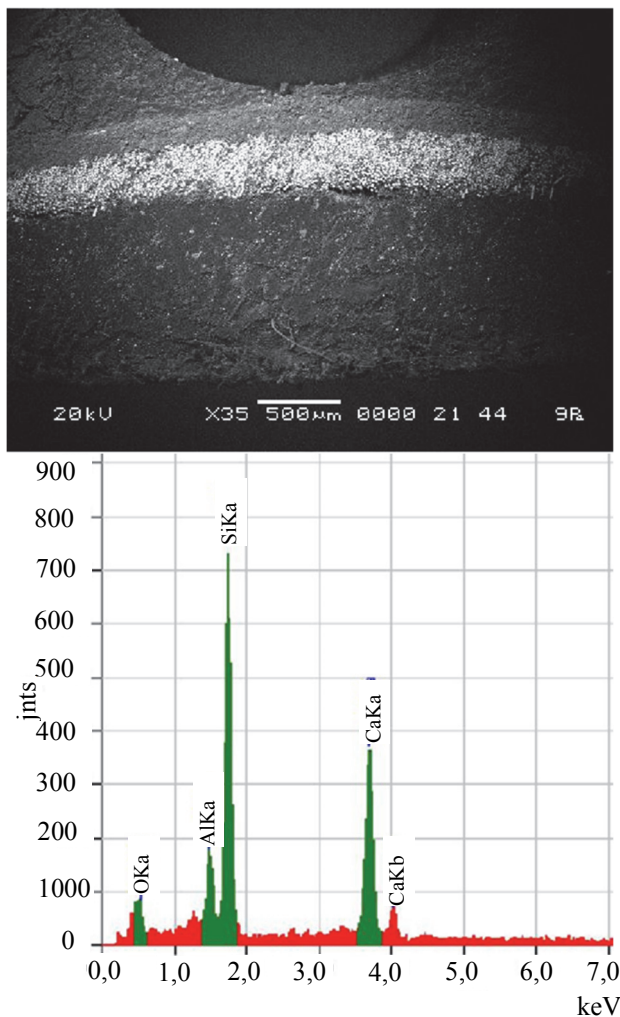


Рис. 6. Структура и состав армирующего слоя образца № 2

На рис. 7 приведены структура и состав армирующего слоя образца № 3.

Температуры плавления скользящих полиэтиленовых слоев лыж определены методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Исследования проводились при помощи термоаналитической системы TGA/DSC-1/1600 HF, Mettler Toledo Instruments.

Температура плавления скользящего слоя образца № 1 составила 139,60°C, образца № 2 – 140,94°C, образца № 3 – 136,84°C.

По результатам испытаний по определению температуры плавления для изготовления лыж применяется сшитый полиэтилен низкого

давления (высокой плотности), на сшитую структуру указывает температура плавления $\approx 140^\circ\text{C}$.

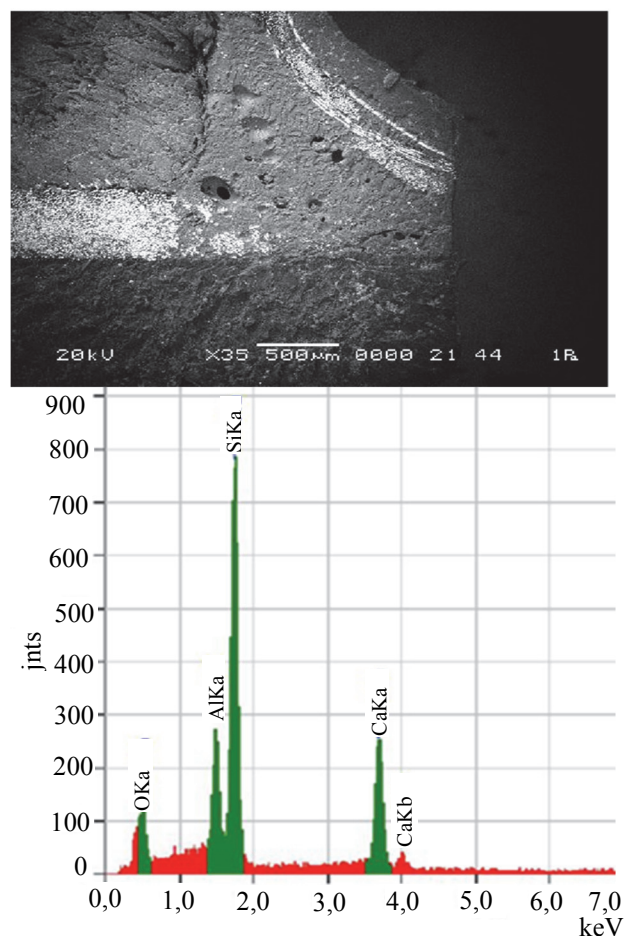


Рис. 7. Структура и состав армирующего слоя образца № 3

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о наиболее распространенных материалах, которые применяются в спортивно-беговых пластиковых лыжах. К ним относятся:

- 1) древесина лиственных пород, предпочтительно осина;
- 2) АБС-пластики, вероятно экструзивных марок, которые применяются в пневмоформовании. Точную марку не представляется возможным установить. Существует множество марок АБС-пластика, которые различаются по своим свойствам и способам переработки;
- 3) эпоксидная смола; после процесса отверждения невозможно установить марку. Также не представляется возможным определить марку отвердителя и его количество;
- 4) стекловолокно; в Республике Беларусь существует производитель стекловолокна: ОАО «Полоцк-Стекловолокно»;
- 5) полиэтилен; в конструкциях лыж используется сшитый полиэтилен низкого давления

(полиэтилен высокой плотности). На сшитую структуру указывает температура плавления 140°C.

Несмотря на то что большинство материалов, необходимых при производстве лыж, не производятся в Республике Беларусь, на данный момент в филиале «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг» нала-

жено производство спортивно-беговых пластиковых лыж из иностранных комплектующих, главным образом таких компаний, как ISOSPORT (Австрия) и HEXCEL (США).

Вместе с этим проводятся работы по импортозамещению зарубежных комплектующих с целью организации производства лыж из отечественного сырья.

Список литературы

1. Производство деревянных лыж [Электронный ресурс] // Все новое и проверенное временем в строительстве и машиностроении. URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/proizvodstvo-ski.shtml> (дата обращения: 03.03.2020).
2. Пластиковые лыжи. Из чего изготавливают скользящую поверхность лыж [Электронный ресурс] // Новая атлетика. URL: <https://новая-атлетика.рф/blogplastikovye-lyzhi-iz-chego-izgotavlivayut-skolzyashchuyu-poverkhnost-lyzh/> (дата обращения: 03.03.2020).
3. ISOCAP – Top sheets [Электронный ресурс] // ISOSPORT innovative plastics solutions. URL: <https://www.isosport.com/en/categories/isocap> (дата обращения: 03.03.2020).
4. Немного о скользачке [Электронный ресурс] // Горнолыжный портал – SKI.RU. URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/nemnogo-o-skolzyachke> (дата обращения: 04.03.2020).
5. ISOSPEED – Base materials [Электронный ресурс] // ISOSPORT innovative plastics solutions. URL: <https://www.isosport.com/en/categories/isospeed> (дата обращения: 04.03.2020).
6. Усиливающие материалы для лыж и сноубордов [Электронный ресурс] // Спорт-Марафон. URL: <https://sport-marafon.ru/article/gornye-lyzhi/usilivayushchie-materialy-dlya-lyzh-i-snoubordov/> (дата обращения: 05.03.2020).
7. Препреги и смолы [Электронный ресурс] // HEXCEL. URL: <https://www.hexcel.com/Products/Prepregs-and-Resins/HexPly-Prepregs> (дата обращения: 05.03.2020).
8. Материалы скользящей поверхности беговых лыж [Электронный ресурс] // Спортивная линия. URL: <https://www.skiline.ru/sport-technology/615-ski-base-materials> (дата обращения: 05.03.2020).
9. Анатомия лыж [Электронный ресурс] // Беговые лыжи. URL: <http://skisport.narod.ru/article/equipse108.html> (дата обращения: 05.03.2020).
10. Конструктивные особенности беговых лыж [Электронный ресурс] // Беговые лыжи. URL: <http://102ski.ru/index.php/2009-12-19-15-11-50/15-design-bl> (дата обращения: 4.03.2020).

References

1. *Vse novoe i proverennoe vremenem v stroitel'stve i mashinostroenii. Proizvodstvo derevyannykh lyzh* [Everything is new and time-tested in construction and engineering. Wooden ski production]. Available at: <http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/proizvodstvo-ski.shtml> (accessed 03.03.2020).
2. *Novaya atletika. Plastikovy lyzhi. Iz chego izgotavlivayut skol'zyashchuyu poverkhnost' lyzh* [New Athletics. Plastic skis. What is made of the sliding surface of the ski]. Available at: <https://новая-атлетика.рф/blogplastikovye-lyzhi-iz-chego-izgotavlivayut-skolzyashchuyu-poverkhnost-lyzh/> (accessed 03.03.2020).
3. ISOSPORT innovative plastics solutions. ISOCAP – Top sheets. Available at: <https://www.isosport.com/en/categories/isocap> (accessed 03.03.2020).
4. *Gornolyzhnyj portal – SKI.RU. Nemnogo o skol'zyachke* [Ski portal – SKI.RU. A bit about slippery]. Available at: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/nemnogo-o-skolzyachke> (accessed 04.03.2020).
5. ISOSPORT innovative plastics solutions. ISOSPEED – Base materials. Available at: <https://www.isosport.com/en/categories/isospeed> (accessed 04.03.2020).
6. *Sport-Marafon. Usilivayushchiye materialy dlya lyzh i snoubordov* [Sport-Marathon. Reinforcing materials for ski and snowboards]. Available at: <https://sport-marafon.ru/article/gornye-lyzhi/usilivayushchie-materialy-dlya-lyzh-i-snoubordov/> (accessed 05.03.2020).
7. *HEXCEL. Prepregi i smoly* [HEXCEL. Prepregs and resins]. Available at: <https://www.hexcel.com/Products/Prepregs-and-Resins/HexPly-Prepregs> (accessed 05.03.2020).
8. *Sportivnaya liniya. Materialy skol'zyashchey poverkhnosti begovykh lyzh* [Sports line. Cross country ski sliding materials]. Available at: <https://www.skiline.ru/sport-technology/615-ski-base-materials> (accessed 05.03.2020).
9. *Begovye lyzhi. Anatomiya lyzh* [Cross-country skiing. Anatomy of the ski]. Available at: <http://skisport.narod.ru/article/equipse108.html> (accessed 05.03.2020).

10. *Begovye lyzhi. Konstruktivnye osobennosti begovyh lyzh* [Cross-country skiing. Design features of crosscountry skiing]. Available at: <http://102ski.ru/index.php/2009-12-19-15-11-50/15-design-bl> (accessed 04.03.2020).

Информация об авторах

Полховский Антон Викторович – магистр технических наук, аспирант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antopolx1@mail.ru

Прохорчик Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета заочного образования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

Шетько Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tidid@belstu.by

Ручкина Елена Васильевна – ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: helena_slivka@mail.ru

Information about of authors

Polkhovskiy Anton Viktorovich – Master of Engineering, PhD student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antopolx1@mail.ru

Prokhorchik Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Extramural Studies. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

Shetko Sergey Vasilyevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tidid@belstu.by

Ruchkina Elena Vasil'evna – assistant, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (Sverdlova str., 13a, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: helena_slivka@mail.ru

Поступила 12.03.2020