

4. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 621.792.053:678

И.А. Латышевич, Е.И. Гапанькова, Н.Г. Козлов

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕПРЕГА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЫЖ

Введение. Производство пластиковых лыж включает в себя большое количество трудоемких операций, требующих наличие высококвалифицированных специалистов. Качественное изделие изготавливается с соблюдением всех правил и технологий.

Современные пластиковые лыжи по своей структуре представляют собой неоднородный композитный материал, состоящий из среднего деревянного клина, запрессованного в пластиковый кожух из акрилонитрилбутадиенстирола, который в свою очередь соединен со скользящей поверхностью из полиэтилена высокой плотности.

В качестве древесной основы для спортивного инвентаря выбирают зачастую самые прочные материалы: бук, березу, клен. Для удешевления изделий как наполнители часто используются тополь, осина или ель. При производстве пластиковых лыж на единственном производственном участке в Республике Беларусь, в филиале «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг», при получении сердечника лыжи также используется древесина. Изготовление среднего клина заключается в правильном сращивании и склеивании деревянных ламелей для последующего напрессовывания носочной и пяточной частей из полимерного материала.

Пластиковая лыжа собирается по типу «сэндвича»: снизу и сверху деревянный клин защищается полимерными материалами. Снизу в качестве скользящей поверхности используется полиэтилен, сверху располагается декоративная пленка из термопласта. Между пластиковыми составляющими и средним клином обязательно располагаются клеевой и армирующие слои. В качестве этих слоев выступают препреги. Препреги имеют конструкционное назначение, изготавливаются на основе волокнистых арми-

рующих наполнителей и полимерных связующих [Латышевич и др., 2020]. Они охватывают и боковые части изделия. Количество слоев регулируется на производстве в зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик и вида производимой продукции.

После сборки всех слоев полуфабрикат подается в горячий пресс, где происходит выдержка при заданных режимах до полного соединения всех конструктивных слоев. Далее идут последовательные этапы механической обработки для формирования конечного изделия.

Целью работы являлось сравнение эксплуатационных характеристик спортивно-беговых пластиковых лыж, изготовленных с применением различных типов препрегов, разработанных в ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ, и серийных импортных материалов, а также установление влияния на них армирующей основы исследуемых препрегов.

Материалы и методика исследования. Для сравнения эксплуатационных характеристик спортивно-беговых пластиковых лыж наработаны партии экспериментальных препрегов с применением имеющихся составляющих и оборудования. Для сравнения взяты серийные материалы зарубежных производителей: ООО «Соболь», г. Балабаново (армирующая основа – однонаправленный стеклянный директ-ровинг), Российская Федерация и корпорация Hexcel, Австрия (армирующая основа – мультиаксиальная ткань на основе стеклянных директ-ровингов).

Для изготовления препрегов использовали однонаправленную ленту на основе стеклянного директ-ровинга и строительную стекловуаль. Всего наработано три типа препрегов, имеющих различное конструктивное исполнение армирующей основы:

- препрег-лента представляет собой стеклянные директ-ровинги, уложенные в ленту и переплетенные между собой полиэфирной нитью;
- препрег-флис – нетканое волокно, изготовленное путем прессования стекловолоконных нитей;
- двухслойный однонаправленный препрег – стеклянные директ-ровинги, уложенные на подложку из строительной стекловуали.

Экспериментальные препреги применяли при изготовлении пластиковых лыж типоразмера 1800 мм.

При наработке препрегов армирующую основу пропитывали разработанным эпоксидным связующим, для получения которого применяли следующее сырьё: смола эпокси-диановая ($\eta = 13$ Па·с), терпеноидный отвердитель ($T_p = 62,5^\circ\text{C}$, КЧ = 278,1 мг КОН/г), поливинилбутиральная смола

($\eta = 9\text{--}13$ мПа·с), смола с карбоксильными группами – сополимер винилхлорида, винилацетата и дикарбоновой кислоты ($\eta = 35\text{--}55$ мПа·с), смесь органических растворителей (кетоны и сложные эфиры), ускоритель отверждения эпоксидных смол ($\rho_d^{20} = 1,5160$) [Бильдюкевич и др., 2024].

Контроль эксплуатационных показателей пластиковых лыж включал в себя определение основных показателей: стрелы прогиба; индекса жесткости; жесткости средней части и прочности при изгибе; остаточного прогиба; жесткости передней и задней частей – согласно ГОСТ 17043-90 «Лыжи. Технические условия», ГОСТ 30199-94 «Лыжи. Определение массы и положения центра тяжести», ГОСТ 30045-93 «Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний» и «Методы контроля качества технологических параметров лабораторных образцов препрегов М-281-2022».

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась для эксплуатационных характеристик экспериментальных лыж с целью подтверждения достоверности и сходимости полученных результатов по следующим показателям: стрела прогиба, разрушающая нагрузка, жесткость носочной и пяточной частей. Дана оценка указанных параметров распределения и проверены гипотезы о средних значениях.

Обработка результатов проводилась с помощью табличного процессора Microsoft Office Excel. Ниже представлены формулы, используемые в надстройке Microsoft Office Excel «Анализ данных» для ведения расчетов [Гребенникова, 2015].

Доверительный интервал – это интервал, в котором с заданной вероятностью оказывается оцениваемый параметр, т. е. интервал, являющийся параметром точности измерений. Авторы выбрали доверительный интервал по критерию Стьюдента, равный 95 % (уровень значимости 5%).

Результаты, полученные при статистической обработке выборок, будут достоверными лишь в том случае, если выборка однородна, т. е. если составляющие данной выборки не отягощены грубыми погрешностями, допущенными при измерениях или расчетах. Для принятия решения об исключении таких выпадающих значений вариант перед окончательным вычислением статистических характеристик необходимо провести проверку однородности выборки. К решению данного вопроса применим критерий Граббса. Исключаем аномальные параметры относительно крайних (наибольшего X_{max} и наименьшего X_{min}) значений определяемых показателей. Полученные данные сравниваем с табличными значениями одностроннего критерия Граббса $G_{\text{табл}}$ [Grubbs, Glenn, 1972].

Сравнение экспериментальных значений проводили с нормативными по каждому из показателей, а также с показателями для образцов лыж, изготовленных с применением препрегов импортного производства, применяемых в технологическом процессе. Также провели сравнение средних значений двух выборок по критерию Стьюдента [Большев, Смирнов, 1965].

Гипотеза об отсутствии различий между средними значениями в двух выборках принимается, если расчетное значение критерия Стьюдента меньше табличного для рассчитанного числа степеней свобод k .

Результаты исследования. Экспериментальные материалы с использованием разработанного эпоксидного связующего наработаны на лабораторной установке по изготовлению препрегов, принципиальная схема которой изображена на рис. 1.

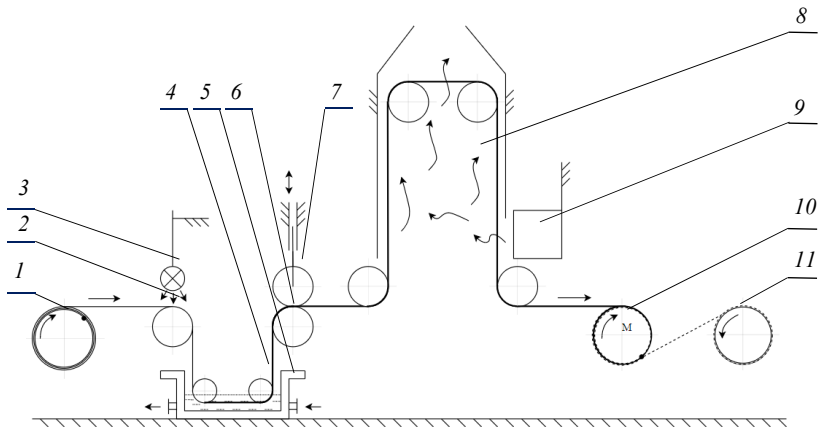


Рис. 1. Схема принципиальная пропиточной установки для изготовления препрегов: 1 – паковка с сухим армирующим материалом; 2 – вал направляющий (5 шт.); 3 – лампа инфракрасная подогревающая; 4 – вал пропиточный (2 шт.); 5 – ванна пропиточная термостатируемая; 6 – вал опорный; 7 – вал прижимной; 8 – камера сушильная; 9 – тепловоздушный обогрев; 10 – паковка с готовым препрегом; 11 – паковка с разделительным материалом

Fig. 1. Schematic diagram of the impregnation unit for the production of prepregs: 1 – package with dry reinforcing material; 2 – guide shaft (5 pcs.); 3 – infrared heating lamp; 4 – impregnation shaft (2 pcs.); 5 – thermostatically controlled impregnation bath; 6 – support shaft; 7 – pressure shaft; 8 – drying chamber; 9 – hot air heating; 10 – package with finished prepreg; 11 – package with separating material

Пропиточная лабораторная установка состоит из узла подачи и подготовки армирующего материала, включающего паковку с сухим армирующим материалом 1, подогрев которого для увеличения скорости пропитывания осуществляли с помощью инфракрасной лампы 3. Проникновение эпоксидного связующего в пространство между волокнами стеклянного директ-ровинга и исключение образования тонкой пленки на их поверхности, препятствующее указанному процессу, являются важным этапом подготовки материала. Пропитка осуществлялась в термостатируемой ванне 5. В качестве теплоносителя использовали воду. Излишки с поверхности пропитанного армирующего материала удаляли путем протягивания между валом опорным 6 и валом прижимным 7, с помощью которого регулировали зазор между валами, необходимый для обеспечения заданного содержания связующего. При прохождении через камеру сушильную 8 удаляли легколетучую часть из состава эпоксидного связующего путем высушивания препрега горячим воздухом 9 до остаточного значения по летучим соединениям не более 5%. Готовый препрег с послойным разделением пленкой, подаваемой с паковки 11, поступал на вал 10, где формировался готовый к использованию на производстве рулон. Вал 10 – приводной, все валы пропиточной установки жестко закреплены, кроме вала 7.

Препреговая технология имеет несколько вариантов исполнения, наиболее распространенным из которых является метод изготовления композитных материалов путем пропитки, заключающейся в совмещении компонентов насыщением порового пространства волокнистого наполнителя эпоксидным связующим. При пропитке происходит течение (фильтрация) вязкой жидкости (связующего) через поровое пространство наполнителя [Ставров, 2006]. Также распространены способы нанесения полимерного связующего с помощью контактного ролика, с использованием пульверизации или по расплавной технологии.

В случае наработки двухслойного однонаправленного препрега к паковке с сухим армирующим материалом, в качестве которого выступал строительный стеклохолст, дополнительно устанавливались шпунтарники для подачи стеклянного директ-ровинга и направляющие гребенки.

Подсушенный и прогретый перед пропиткой при температуре $140 \pm 5^\circ\text{C}$ сухой армирующий материал протягивали в контакте с поверхностью цилиндрических пропиточных валов, находящихся в ванне, которую после заполняли эпоксидным связующим. Натяжение слоя и скорость протягивания задавали из условия качественной пропитки и исключения непропитанных участков. Требуемую степень наполнения (отжим избытка смолы)

обеспечивал зазор, регулируемый отжимным роликом Достигалось содержание связующего в препрег-ленте – 40 ± 2 мас.%, препрег-флисе – 80 ± 2 мас.%, двухслойном однонаправленном препреге – 38 ± 2 мас.%. Плотность препрега пропускали через сушильную камеру для удаления избытка растворителя. Температура воздуха в камере – $75 \pm 5^\circ\text{C}$. Препрег наматывали в рулоны диаметром до 250 мм, разделяя слои полиэтиленовой пленкой для предотвращения их слипания.

Экспериментальные образцы пластиковых лыж (по 16 шт.) изготовлены по следующим технологиям, существующим на предприятиях:

1 – экспериментальные препрег-лента и препрег-флис (ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ);

2 – экспериментальный двухслойный однонаправленный препрег (ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ);

3 – препрег производства ООО «Соболь», Российская Федерация;

4 – препрег производства Hexcel, Австрия.

Они прошли полную механическую обработку: торцовку, фрезерование, циклевку, нарезание желоба, шлифование с нанесением структуры. Фотоотверждаемое покрытие не наносилось. Все лыжи имели правильную геометрическую форму.

Обсуждение. Опытные образцы препрегов наработаны на экспериментальной установке в условиях лаборатории. Пластиковые лыжи изготовлены на производственных площадях филиала «Телеханы» государственного предприятия «Беларусьторг».

Физико-механические свойства экспериментальных лыж определяли в лаборатории по действующим ГОСТ и методикам.

Показатели качества для лыж, изготовленных с использованием различных препрегов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений
Measurement results

Образец	Масса клина, г	Масса лыжи, г	Длина лыжи, мм	Положение центра тяжести, мм	Стрела прогиба, мм
1	412,00	676,00	1792,00	856,00	24,50
2	416,00	681,00	1785,00	853,00	27,52
3	423,00	687,00	1781,00	852,00	26,63
4	431,00	693,00	1785,00	849,00	30,50
НОРМА	–	–	–	–	$\leq 30,00$

Основным контролируемым параметром в данном испытании является стрела прогиба, которая характеризует расстояние между плоской опорной горизонтальной поверхностью, на которой располагается лыжа, и наиболее удаленной точкой скользящей поверхности ненагруженной лыжи, измеряемое штангенциркулем. Согласно полученным значениям независимо от используемого препрега, как экспериментального, так и серийного, все образцы пластиковых лыж соответствуют нормативному значению.

Далее производили измерения и расчеты для средней части пластиковых лыж (индекс жесткости, жесткость средней части, прочность при изгибе, остаточный прогиб). Результаты приведены в табл. 2.

Под жесткостью средней части лыжи понимают отношение приращения нагрузки к соответствующему перемещению точки приложения нагрузки на начальном линейном участке диаграммы деформирования центральной части лыжи при испытании по трехточечной схеме нагружения. Данный показатель не нормируется, однако он для всех экспериментальных пластиковых лыж варьируется в одинаковых пределах 150 ± 5 Н/мм.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов для средней части лыж

Results of measurements and calculations for the middle part of the skis

Образец	Индекс жесткости FA, Н	Остаточная длина при FA, мм	При нормативной нагрузке 245 Н		Жесткость средней части, Н/мм	Разрушающая нагрузка, Н
			Остаточный прогиб, мм	Остаточная длина, мм		
1	358	463	0,83	487	150	2325
2	404	465	0,98	494	156	2227
3	434	466	0,87	488	149	1966
4	359	485	0,64	485	147	2234
НОРМА	≥ 300	–	0,60–1,70	–	–	2060

Разрушающая нагрузка средней части лыжи – наибольшее усилие, которое выдерживает лыжа в средней части при испытании по трехточечной схеме нагружения. Пластиковые лыжи, изготовленные с использованием экспериментальных материалов, а также импортных материалов по данному параметру соответствуют нормативным значениям для данного типоразмера. Исключением являются лыжи, изготовленные с использованием препрега производства ООО «Соболь», Российская Федерация.

Под высотой остаточного прогиба понимают расстояние, измеренное в точке приложения нагрузки, между скользящей поверхностью лыжи и плос-

кой горизонтальной поверхностью при приложении к лыже нагрузки (здесь, к примеру, сила в 245 Н для лыж типоразмера 1800 мм), прикладываемой к точке, расположенной на верхней (противоположной скользящей) поверхности лыжи и отстоящей на расстоянии 80 мм от центра тяжести лыжи в сторону задней части лыжи. Длина остаточного прогиба – длина участка скользящей поверхности лыжи, не соприкасающегося с плоской горизонтальной поверхностью, при приложении к лыже нагрузки. Для всех экспериментальных лыж данные показатели находятся в пределах нормативных значений 0,6–1,7 мм.

В табл. 3 представлены результаты испытаний по определению жесткости передней и задней частей лыжи.

Постоянной жесткостью передней (задней) части лыжи называют отношение нагрузки, приложенной к передней (задней) части лыжи и зафиксированной в момент достижения стрелы прогиба в месте нагружения, к значению стрелы прогиба в указанном месте. Данные параметры находятся в пределах нормативных значений 1,66–2,66 Н/мм, а жесткость передней части у всех лыж завышена.

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов для передней и задней частей лыж

Results of measurements and calculations for the front and rear parts of the skis

Образец	Расстояние от центра тяжести до края зажимающего устройства, мм	Задняя часть лыжи		Передняя часть лыжи	
		Нагрузка, Н (прогиб 30 мм)	Жесткость, Н/мм	Нагрузка, Н (прогиб 30 мм)	Жесткость, Н/мм
1	448	63,2	2,11	67,5	2,25
2	446	66,6	2,22	70,2	2,34
3	447	69,5	2,32	69,5	2,32
4	445	78,1	2,60	72,5	2,42
НОРМА	–	40,0–60,0	1,66–2,66	50,0–80,0	1,33–2,0

Однако следует отметить, что это не является отрицательным свойством и не оказывает влияния на качество конечного изделия при эксплуатации.

С целью сделать вывод о достоверности (сходимости) полученных результатов нами выполнен анализ статистических характеристик массива данных. Также получены математические модели изменения комплекса исследуемых свойств.

К задаче статистической обработки результатов многократных измерений относится оценка измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится истинное значение. Статистические методы обработки результатов измерений используют для описания полученных данных,

выявления наиболее близких к истинному значению, а также для оценки систематических и случайных погрешностей измерений – результатов испытаний. Статистический анализ полученных результатов проводился для четырех параметров: стрелы прогиба, разрушающей нагрузки, жесткости носочной и пяточной частей.

В качестве примера рассмотрим полный проведенный статистический анализ для параметра «стрела прогиба», что позволило научно обосновать и корректно интерпретировать фактически полученные данные, связанные с определением статистической достоверности полученных результатов.

В табл. 4 представлены объемы выборок для каждого комплекта экспериментальных лыж. На основании имеющихся значений, используя приемы математической статистики, рассчитали основные характеристики, отбросив результаты, содержащие промахи.

Результаты статистической обработки представлены в табл. 5 в виде компактных табличных данных, позволяющих оценить воспроизводимость и правильность полученных результатов.

Таблица 4

Объем выборок по показателю «Стрела прогиба, мм»
Sample size for the indicator "Deflection, mm"

	Экспериментальные образцы лыж			
	1	2	3	4
Значение для образца лыжи	28,4	26,7	25,2	30,3
	31,2	30,0	27,6	33,0
	26,5	23,7	29,0	31,3
	24,3	27,0	22,2	28,5
	27,5	24,7	24,5	28,5
	32,8	32,0	29,6	34,9
	24,8	28,9	28,9	32,6
	26,8	27,4	23,9	25,3
	25,0	26,4	25,3	30,5
	30,8	32,6	28,3	34,7
	26,9	25,6	25,9	32,4
	25,0	25,3	26,0	25,8
	28,3	25,4	28,8	29,8
	27,6	32,0	29,0	36,5
	27,1	27,9	27,1	30,4
	26,9	24,7	24,9	23,5
n	16	16	16	16
НОРМА	не более 30			

Примечание: n – объем выборки

Таблица 5

**Математико-статистическая обработка экспериментальных данных
по параметру «Стрела прогиба, мм»**

**Mathematical and statistical processing of experimental data
on the parameter "Deflection, mm"**

Параметр	Экспериментальные образцы лыж			
	1	2	3	4
\bar{X}	24,50	27,52	26,63	30,50
S_x	2,40	2,83	2,21	3,60
V	8,74	10,28	8,31	11,81
n_{min}	24,30	23,70	24,86	23,50
n_{max}	32,80	32,60	29,61	36,50
n (после исключения аномальных значений)	16	16	18	16
K	15	15	17	15
G_n	2,44	2,44	2,50	2,44
X_n	1,23	1,35	0,80	1,92
X_6	2,21	1,80	1,35	1,67
$t_{табл}$	2,1315	2,1315	2,1098	2,1315
ΔX	1,28	1,51	1,10	1,94
$t_{крит}$	2,01	2,11	2,10	0,56
$t_{крит} \leq t_{табл}$	различий нет	различий нет	различий нет	различий нет

Примечание: \bar{X} – среднее арифметическое значение определяемого показателя; S_x – среднее квадратичное отклонение определяемого показателя; V – коэффициент вариации; n – объем выборки; G_n – критерий Граббса; X_i – исследуемый показатель; $t_{табл}$ – табличное значение критерия распределения Стьюдента для числа степеней свободы $n-1$; $t_{крит}$ – критическое (расчетное) значение критерия распределения Стьюдента для числа степеней свободы $n-1$; ΔX – границы доверительного интервала

В табл. 6 представлено сравнение статистических параметров между двумя выборками.

Статистический анализ проведен и для оставшихся контролируемых параметров. Проведена проверка статистических гипотез, что позволило сформировать вывод о возможности принятия информации, полученной из анализа выборок.

Таблица 6

**Математико-статистическая обработка экспериментальных данных
по параметру «Стрела прогиба, мм» между двумя выборками**

**Mathematical and statistical processing of experimental data
on the parameter "Deflection, mm" between two samples**

Параметр	Экспериментальные образцы лыж					
	1/2	1/3	1/4	2/3	2/4	3/4
$t_{\text{табл}}$	2,0423	2,0369	2,0423	2,0369	0,4223	2,0369
k	30	32	30	32	30	32
t_{ij}	1,2317	2,0334	1,6856	1,5770	1,7229	2,0156
$t_{ij} \leq t_{\text{табл}}$	различий нет	различий нет	различий нет	различий нет	различий нет	различий нет

Примечание: t_{ij} – критерий Стьюдента; $k = n_i + n_j - 2$ – число степеней свободы

Оценены параметры распределения данных внутри изучаемых выборок, выявлены аномальные значения по каждому из параметров по критерию Граббса, подтверждена гипотеза об отсутствии различий между полученными в экспериментах средним значением и известными, а также подтверждена гипотеза об отсутствии различия между средними значениями между выборками.

Таким образом, достоверно установлено, что применение различных типов препрегов в технологическом процессе производства пластиковых лыж позволяет получать последние со стабильными эксплуатационными характеристиками, сходимость которых между собой доказана путем обработки данных различными методами статистического анализа.

Заключение. Таким образом, как показали проведенные исследования, применение в конструкции лыжи двухслойного однонаправленного препрега либо связки «препрег-лента – препрег-флис» одинаково влияет на эксплуатационные характеристики получаемых изделий. При этом применение двухслойного однонаправленного препрега позволит увеличить производительность в два раза за счет упрощения принципа сборки лыжного пакета (полное оборачивание) и возможности обслуживать два прессы одним рабочим. С учетом того, что доля препрега в стоимости пластиковой лыжи составляет ориентировочно до 40%, замена связки «препрег-лента – препрег-флис» на двухслойный однонаправленный препрег приве-

дет к снижению стоимости конечного изделия за счет удешевления препрега ориентировочно в 4 раза.

Выполнен анализ статистических характеристик массива данных, получены математические модели изменения комплекса исследуемых свойств. Доказана повторяемость проведенных измерений и расчетов, что позволяет сделать вывод о достоверности (сходимости) полученных результатов.

Вклад авторов. Личный вклад каждого из авторов в написании статьи одинаков.

Патенты. Патент № 24242 Республика Беларусь, МПК А63С 5/12 (2006.1), С08L 63/02 (2006.01), С08J 5/24 (2006.01) Эпоксидное связующее и препрег на его основе для производства спортивно-беговых пластиковых лыж: № а20220242: заявл. 10.10.2022: опубл. 20.03.2024 / Бильдюкевич А. В., Козлов Н. Г., Гапанькова Е. И., Латышевич И. А.; заявитель Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси». 4 с.: ил. Текст: непосредственный.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бильдюкевич А.В., Козлов Н.Г., Гапанькова Е.И., Латышевич И.А. Патент № 24242 Республика Беларусь, МПК А63С 5/12 (2006.1), С08L 63/02 (2006.01), С08J 5/24 (2006.01) Эпоксидное связующее и препрег на его основе для производства спортивно-беговых пластиковых лыж: № а20220242: заявл. 10.10.2022: опубл. 20.03.2024 / заявитель Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси». 4 с.

Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 463 с.

Гребенникова И.В. Методы математической обработки экспериментальных данных: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. 125 с.

Латышевич И.А., Гапанькова Е.И., Полховский А.В., Бильдюкевич А.В., Шетько С.В., Прохорчик С.А., Клюев А.Ю., Козлов Н.Г. Полимерный композиционный материал на основе терпеноидного сырья для производства пластиковых лыж // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. С. 208–220.

Ставров В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2006. 482 с.

Grubbs F.E., Beck G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations // Technometrics. 1972. Vol. 14, iss. 4. P. 847–854.

References

Bildyukevich A.V., Kozlov N.G., Gapankova Ye.I., Latyshevich I.A. Patent № 24242 Respublika Belarus, МПК А63S 5/12 (2006.1), S08L 63/02 (2006.01), C08J 5/24 (2006.01) Epoksidnoye svyazuyushcheye i prepreg na yego osnove dlya proizvodstva sportivno-begovykh plastikovykh lyzh: № а20220242: appl. 10.10.2022: publ. 20.03.2024 / zayavitel Gosudarstvennoye nauchnoye uchrezhdeniye «Institut fiziko-organicheskoy khimii Natsionalnoy akademii nauk Belarusi». 4 p. (In Russ.)

Bolshev L.N., Smirnov N.V. Tablitsy matematicheskoy statistiki. Moscow: Nauka, 1965. 463 p. (In Russ.)

Grebennikova I.V. Metody matematicheskoy obrabotki eksperimentalnykh dannykh: ucheb.-metod. posobiye. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta, 2015. 125 p. (In Russ.)

Grubbs F.E., Beck G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*, 1972, vol. 14, iss. 4, pp. 847–854.

Latyshevich I.A., Gapankova Ye.I., Polkhovskiy A.V., Bildyukevich A.V., Shetko S.V., Prokhorchik S.A., Klyuyev A.Yu., Kozlov N.G. Polimernyy kompozitsionny material na osnove terpenoidnogo syrya dlya proizvodstva plastikovykh lyzh. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 233, pp. 208–220. (In Russ.)

Stavrov V.P. Formoobrazovaniye izdeliy iz kompozitsionnykh materialov: uchebnik. Minsk: BGTU, 2006. 482 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 13.02.2025

Латышевич И.А., Гапанькова Е.И., Козлов Н.Г. Влияние типа препрега на эксплуатационные показатели лыж // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 256. С. 524–538. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.524-538

Пластиковая лыжа является высокотехнологичным многослойным композитом и собирается по типу «сэндвича»: снизу и сверху деревянный клин защищается полимерными материалами, которые фиксируются с помощью клеевых материалов – препрегов. Они имеют конструкционное назначение, изготавливаются на основе волокнистых армирующих наполнителей и полимерных связующих различной природы. Целью работы являлось сравнение эксплуатационных характеристик спортивно-беговых пластиковых лыж, изготовленных с применением различных типов препрегов, разработанных в ИФОХ НАН БЕЛАРУСИ. Для полученных лыж на основе препрег-ленты и препрег-флиса, а также однонаправленного двухслойного препрега определены эксплуатационные показатели качества (стрела прогиба, положение центра тяжести, жесткость средней части и прочность при изгибе, остаточный прогиб, жесткость передней и задней частей). Полученные значения экспериментальных

характеристик варьируются в узком диапазоне и не выходят за пределы нормативных значений. Испытания позволили установить равнозначное влияние на эксплуатационные показатели пластиковых лыж как образцов на основе двухслойного однонаправленного препрега, так и на основе связки «препрег-лента – препрег-флис». Применение двухслойного однонаправленного препрега дало возможность повысить производительность в два раза за счет упрощения принципа сборки лыжного пакета (полное оборачивание) и возможности обслуживать два пресса одним рабочим. При этом следует отметить, что доля препрега в стоимости пластиковой лыжи составляет ориентировочно до 40%, и замена связки «препрег-лента – препрег-флис» на двухслойный однонаправленный препрег приведет к снижению стоимости конечного изделия за счет удешевления препрега ориентировочно в 4 раза.

Ключевые слова: препрег, эпоксидное связующее, пластиковые лыжи, испытания.

Latyshevich I.A., Napankova E.I., Kozlov N.G. Influence of prepreg type on skis performance. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 524–538 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.524-538

The plastic ski is a high-tech multilayer composite and is assembled using the "sandwich" method: the wooden wedge is protected from below and from above by polymeric materials, which are fixed using adhesive materials – prepregs. They have a structural purpose, are made on the basis of fibrous reinforcing fillers and polymeric binders of various nature. The aim of the work was to compare the performance characteristics of sports and running plastic skis manufactured using various types of prepregs developed at the Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. For the obtained skis based on prepreg tape and prepreg fleece, as well as unidirectional two-layer prepreg, the performance quality indicators (deflection, center of gravity position, rigidity of the middle part and bending strength, residual deflection, rigidity of the front and back parts) were determined. The obtained values of the experimental characteristics vary in a narrow range and do not exceed the standard values. The tests allowed to establish an equivalent effect on the performance of plastic skis for both samples based on a two-layer unidirectional prepreg and on a prepreg-tape – prepreg-fleece bond. The use of a two-layer unidirectional prepreg made it possible to double the productivity by simplifying the principle of assembling a ski package (complete wrapping) and the ability of one worker to service two presses. At the same time, it should be noted that the share of prepreg in the cost of a plastic ski is approximately up to 40%, replacing the prepreg-tape and prepreg-fleece bond with a two-layer unidirectional prepreg will lead to a decrease in the cost of the final product due to a 4-fold reduction in the price of the prepreg.

Key words: prepreg, epoxy resin, plastic skis, testing.

ЛАТЫШЕВИЧ Ирина Александровна – доцент, старший научный сотрудник лаборатории мембранных процессов Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-2791-3577. SPIN-код: 3056-4309.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: irinalatyshevitch@gmail.com

LATYSHEVICH Iryna A. – PhD (Technical), Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Membrane Processes, Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus. ORCID: 0000-0002-2791-3577. SPIN-code: 3056-4309.

220072. Surganova stk. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: irinalatyshevitch@gmail.com

ГАПАНЬКОВА Елена Игоревна – научный сотрудник лаборатории мембранных процессов Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси. ORCID: 0000-0002-7629-8304.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: elenagapankova@gmail.com

HAPANKOVA Alena I. – researcher of the Laboratory of Membrane Processes, Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus. ORCID: 0000-0002-7629-8304.

220072. Surganova stk. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: elenagapankova@gmail.com

КОЗЛОВ Николай Гельевич – профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории мембранных процессов Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук. SPIN-код: 7032-6636.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. Тел.: E-mail: loc@ifoch.bas-net.by

KOZLOV Nikolay G. – DSc (Chemical), Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Membrane Processes, Institute of physical organic chemistry of The National academy of sciences of Belarus. SPIN-code: 7032-6636.

220072. Surganov stk. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: loc@ifoch.bas-net.by