

УДК 621.792.05:678.061

А. В. Полховский, С. А. Прохорчик

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРЫ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРЕПРЕГОВ
НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ**

Изготовлены семь партий связующего для препрега с различным содержанием 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола для изготовления испытательных образцов по определению прочности при растяжении вдоль волокон. Выполнен анализ параметров, оказывающих влияние на прочность склеивания. Определены постоянные (порода древесины, влажность, температура среды, содержание ЭД-20, фенолформальдегидной смолы, ацетона, время прессования, температура прессования) и переменные (содержание ускорителя отверждения 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола) факторы. Выбран выходной параметр – прочность склеивания. Проведены испытания по определению прочности клеевых соединений. Осуществлена статистическая обработка результатов эксперимента, рассчитаны коэффициент вариации, средняя квадратическая ошибка выборочного среднего и показатель точности среднего значения. Показатели точности для всех выборок находились в диапазоне от 1,14 до 4,07, что указывает на достаточную надежность измерений.

Установлена зависимость прочности клеевого соединения, образованного разработанным препрегом, от содержания ускорителя отверждения. За оптимальное содержание ускорителя отверждения в составе связующего приняты 1,25 мас. ч.

Ключевые слова: связующее, препрег, ускоритель отверждения, испытания, склеивание, прочность, статистическая обработка.

Для цитирования: Полховский А. В., Прохорчик С. А. Влияние рецептуры связующего для препрегов на прочность склеивания // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 218–224.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-27.

A. V. Polkhovsky, S. A. Prokhorchik

Belarusian State Technological University

**INFLUENCE OF BINDER FORMULATION FOR PREPREGS
FOR ADHESION STRENGTH**

Seven batches of prepreg binder with different contents of 2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol were produced for the production of test samples to determine tensile strength along the fibers. An analysis of the parameters influencing the bonding strength was carried out. Constant (wood species, humidity, ambient temperature, content of ED-20, phenol-formaldehyde resin, acetone, pressing time, pressing temperature) and variable (content of curing accelerator 2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol) factors were determined. Output parameter selected (adhesive strength). Misses were excluded from the samples. Statistical processing of the experimental results was carried out, the coefficient of variation, the root mean square error of the sample average and the accuracy indicator of the average value were calculated. Accuracy scores for all samples ranged from 1.14 to 4.07, indicating reasonable measurement reliability.

A relationship has been established between the strength of the adhesive joint formed by the developed prepreg and the content of the curing accelerator. The optimal content of the curing accelerator in the binder composition was taken to be 1.25 parts by weight.

Keywords: binder, prepreg, curing accelerator, testing, gluing, strength, statistical processing.

For citation: Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A. Influence of binder formulation for prepregs for adhesion strength. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 218–224 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-27.

Введение. В качестве конструкционных и адгезионных материалов при производстве изделий различного назначения широко используются препреги. Помимо изделий, выполненных полностью из препрега, они могут содержать в своей конструкции элементы, состоящие из других

материалов. Для обеспечения адгезионной связи между отдельными слоями в конструкции изделия, а также для соблюдения гигиенических требований в качестве связующего компонента в композиционных материалах применяются составы на основе эпоксидной смолы. Также для

бесперебойного производства изделий с применением препрегов на основе термореактивного связующего существует потребность в длительном периоде хранения, в том числе при отрицательных температурах, – не менее 6 мес. [1].

Препрег является одним из основных компонентов, применяемых в производстве спортивно-беговых пластиковых лыж. Поэтому в целях импортозамещения в производстве лыжной продукции, на основании анализа существующих пропиточных составов [2–4] было разработано связующее для препрега, которое содержало эпоксидную диановую смолу (ЭД-20) – 38,5 мас. ч., фенолформальдегидную новолачную смолу (ФФС) – 15 мас. ч., 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол – 1,25 мас. ч., органический растворитель (ацетон) – 50,0–60,0 мас. ч. Препрег изготавливали при помощи пропитки наполнителя (однонаправленная стеклянная лента на основе ровингов, нетканое полотно). Разработанный состав связующего позволил обеспечить достаточную эластичность для формирования минимального радиуса изгиба 3 мм без проявления хрупких повреждений. При температуре 20°C обеспечивалась достаточная липкость связующего для объединения слоев материалов между собой, а при температуре отверждения проявилась достаточная текучесть в процессе заполнения пустот между слоями, обеспечена достаточная адгезия к различным материалам (наполнителю, древесине, акрилонитрилбутадиенстирольному пластику, полиэтилену) [5].

Для более глубокого изучения вопроса была поставлена задача практически исследовать влияние различного содержания ускорителя в препреге с получением фактических показателей прочности склеивания.

Цель исследования – определение оптимального содержания ускорителя в составе связующего для производства препрега с заданными показателями склеивания.

Основная часть. В разработанном составе связующего для препрега на основе эпоксидной смолы в качестве отвердителя применяли фенолформальдегидную смолу новолачного типа, которая относится к группе олигомерных отвердителей, так как они гораздо менее токсичны по сравнению с отвердителями-мономерами и при отверждении позволяют формировать материалы с высокой химической стойкостью и термостабильностью, способностью длительное время сохранять технологические свойства [6]. Выбор данного типа отвердителя обусловлен доступностью сырья и его невысокой ценой.

Отверждение происходит благодаря реакции гидроксильных групп отвердителя и эпоксидных групп смолы. Для протекания реакции отверждения нужна более высокая энергия активации, чем при использовании аминных отвердителей

(реакция протекает при температуре 160–180°C) [6], что не удовлетворяет необходимым технологическим требованиям (температура 120°C). Для ускорения протекания реакции отверждения могут быть применены катализаторы (третичные амины), которые послужат тому, что реакция будет проходить при температурах от 75 до 100°C. Процесс отверждения эпоксидного олигомера фенолформальдегидной смолой представляет собой реакцию полиприсоединения, которая активируется донорами водорода (рис. 1) [6].

Для определения оптимального содержания ускорителя отверждения в связующем, удовлетворяющем технологическим требованиям (отверждение в течение 8 ± 1 мин при температуре $120 \pm 2^\circ\text{C}$), провели эксперимент, заключающийся в изготовлении и испытании семи составов связующего для препрегов с различным содержанием ускорителя, так как разное его содержание оказывает влияние на скорость протекания реакции полимеризации. При недостаточном содержании ускорителя связующее реагирует не до конца, что в свою очередь влияет на функцию склеивания. Степень полимеризации может быть определена методом экстрагирования, суть которого заключается в том, что взвешенный образец композиционного материала экстрагируют в аппарате Сокслета, затем высушивают и взвешивают массу остатка [7]. В нашем случае провели эксперимент по определению прочности клеевого соединения при растяжении вдоль волокон древесины [8].

Порядок изготовления испытательных образцов состоял из следующих этапов:

1) приготовление семи растворов связующего с различным содержанием ускорителя отверждения (2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол): от 0,5 до 2,0 мас.ч. с шагом 0,25 мас. ч. Смешивание смол с растворителем (ацетоном) проводилось при нормальных условиях. Порошок измельченной фенолформальдегидной смолы (размер частиц 0,5 мм) был помещен в сухой реактор. В отдельной емкости смешали эпоксидную смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587–84) [9] с ацетоном (ГОСТ 2768–84) [10]. Полученную смесь влили в реактор с порошком фенолформальдегидной смолы и произвели гомогенизацию смол до полного растворения порошка. Далее в полученную смесь ввели ускоритель (2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол) (УП-606/2, ТУ У 6-00209817.035-96);

2) изготовление из полученного связующего семи партий препрегов (табл. 1) путем пропитки наполнителя, который был пропущен через систему валков с последующей сушкой при температуре 70–80°C до полного удаления растворителя (ацетона) из готового препрега. В качестве наполнителя было использовано нетканое полотно (ТУ 23.14.12-001-213875232020) [11];

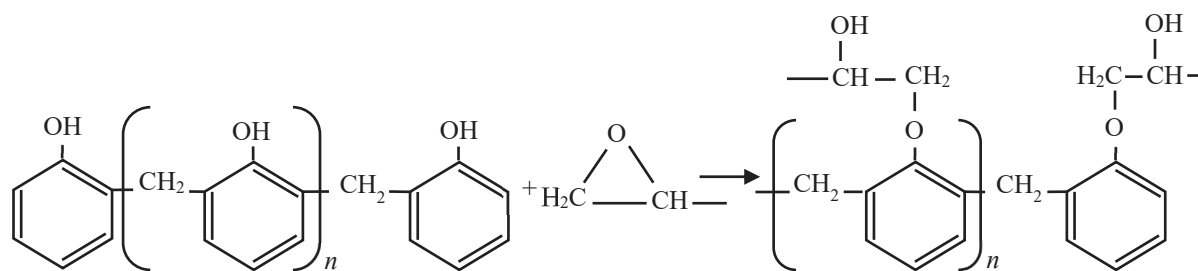


Рис. 1. Реакция полиприсоединения

3) подготовка с использованием полученного препрега семи партий образцов для испытания на прочность соединений при растяжении вдоль волокон [8].

Таблица 1

Составы связующих

Номер состава	Содержание компонентов, мас. ч.			
	ЭД-20	ФФС	Ацетон	Ускоритель
1	38,50	15,00	60,00	0,50
2				0,75
3				1,00
4				1,25
5				1,50
6				1,75
7				2,00

Образцы изготавливали следующим способом. Из заготовок древесины бука влажностью 12% выпиливали пластины толщиной 6 мм. Полученные пластины строгали до толщины 5 мм. Волокна древесины в образцах располагались по направлению растяжения, годичные кольца – под углом 30–90° к плоскости склеивания. Для создания склеивающего слоя из изготовленного препрега вырезали листы длиной 150 мм и шириной 20 мм. Образцы получали в результате склеивания двух пластин по пластям. Размеры пластин: длина – 150 мм, ширина – 20 мм, толщина – 5 мм. Между пластинами располагали лист препрега,

который под действием температуры ($120 \pm 2^\circ\text{C}$) и давления (1 МПа) за определенный промежуток времени (8 ± 1 мин) образовывал клеевое соединение. Полученные образцы выдерживали в течение 24 ч при нормальных условиях. Затем на них делались поперечные пропилы (шириной $2,5 \pm 0,5$ мм) на расстоянии 10 мм. На рис. 2 приведена схема образца [12].

В процессе получения различных вариантов связующего было замечено, что спустя 48 ч раствор связующего с содержанием ускорителя, равным 2,0 мас. ч., перешел в твердую фазу. Через 5 сут в твердую фазу перешел раствор с содержанием ускорителя 1,75 мас. ч. Также следует обратить внимание на тот факт, что препреги, в которых содержание ускорителя превышало 1,25 мас. ч. (1,5–2,0 мас. ч.), не обладали липкостью.

Испытание клевого соединения, образованного препрегом, на прочность проводили на основании методики из ГОСТ 33120–2014 «Метод определения предела прочности клевого соединения при растяжении вдоль волокон» (рис. 3) [8].

Склеенные образцы испытывали на разрывной машине МТС Criterion C43.504 (США) с использованием специального приспособления (разрывного устройства). Концы образца зажимались в разрывном устройстве [12] и подвергались растягивающей нагрузке со скоростью 50 мм/мин до разрушения. Прочность клевого соединения определяли по формуле, приведенной в ГОСТ 33120 [8].

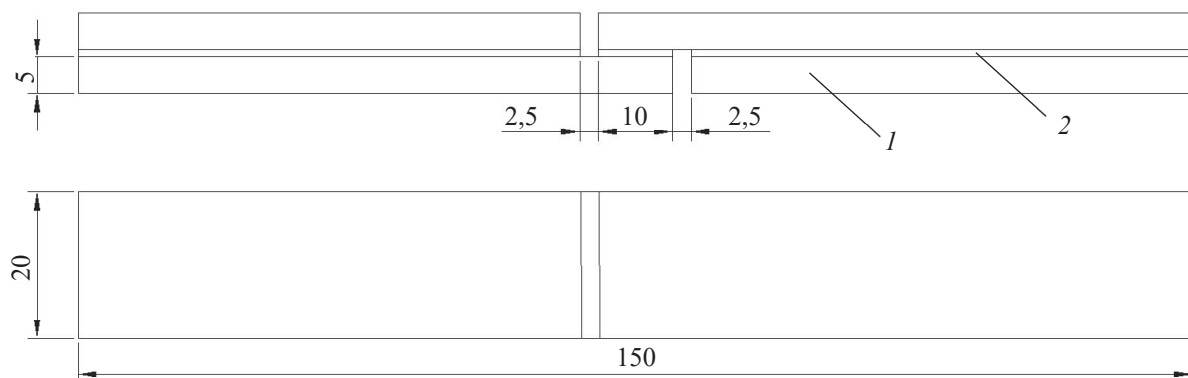


Рис. 2. Схема образца:

1 – пластины; 2 – склеивающий слой

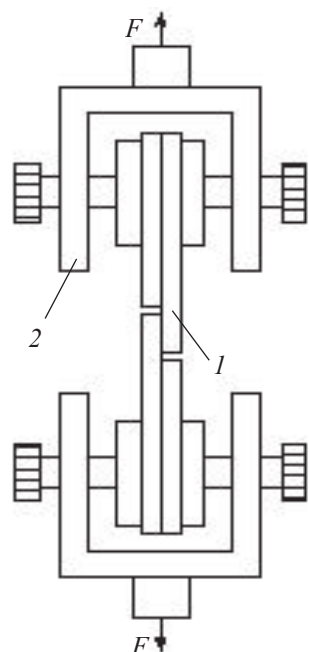


Рис. 3. Схема испытания:
1 – склеенные образцы;
2 – разрывное устройство

Экспериментальные исследования проводили для определения зависимости прочности склеивания от содержания в составе связующего ускорителя отверждения. Для повышения эффективности исследования и нахождения зависимостей был выполнен однофакторный эксперимент, так как данный метод исследования нагляден, можно прогнозировать результаты и достаточно легко обнаружить ошибку [13–15].

Также были определены постоянные и переменные факторы, оказывающие влияние на процесс отверждения (табл. 2).

Таблица 2

Постоянные и переменные факторы

Фактор	Значение
Постоянные факторы	
Порода древесины	Бук
Влажность, %	12
Температура среды, °С	20
ЭД-20, мас. ч.	38,50
Фенолформальдегидная смола, мас. ч.	15,00
Ацетон, мас. ч.	50,00
Время прессования, мин	8 ± 1
Температура прессования, °С	120
Переменные факторы	
2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол, мас. ч.	0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,5; 1,75; 2,00

Породу древесины, влажность и температуру среды брали согласно требованиям ГОСТ 33120 к проведению эксперимента. Компоненты связую-

щего (ЭД-20, фенолформальдегидная смола и ацетон) выбирали согласно патенту [5]. В соответствии с приведенной выше методикой испытывали изготовленные образцы, определяя прочность клеевых соединений (табл. 3).

Таблица 3

Первичные результаты эксперимента

Номер образца	Разрушающая нагрузка F, Н	Прочность соединения τ, МПа	Характер разрушения
0,50			
1.1	1850,00	9,25	По древесине
1.2	1350,00	6,75	По клею
1.3	1250,00	6,25	По клею
1.4	1100,00	5,50	По клею
1.5	1100,00	5,50	По клею
1.6	1150,00	5,75	По клею
0,75			
2.1	1150,00	5,75	По клею
2.2	1350,00	6,75	По клею
2.3	1150,00	5,75	По клею
2.4	1300,00	6,50	По клею
2.5	1750,00	8,75	По древесине
2.6	1350,00	6,75	По клею
1,00			
3.1	1500,00	7,50	По клею
3.2	1350,00	6,75	По клею
3.3	1450,00	7,25	По клею
3.4	1450,00	7,25	По клею
3.5	1400,00	7,00	По клею
3.6	1350,00	6,75	По клею
1,25			
4.1	2000,00	10,00	По древесине
4.2	1950,00	9,75	По древесине
4.3	1850,00	9,25	По древесине
4.4	1900,00	9,50	По древесине
4.5	1850,00	9,25	По древесине
4.6	1950,00	9,75	По древесине
1,50			
5.1	1900,00	9,50	По древесине
5.2	1850,00	9,25	По древесине
5.3	1850,00	9,25	По древесине
5.4	1800,00	9,00	По древесине
5.5	1900,00	9,50	По древесине
5.6	1950,00	9,75	По древесине
1,75			
6.1	2000,00	10,00	По древесине
6.2	1850,00	9,25	По древесине
6.3	1850,00	9,25	По древесине
6.4	1950,00	9,75	По древесине
6.5	1900,00	9,50	По древесине
6.6	1800,00	9,00	По древесине
2,00			
7.1	1250,00	6,25	По клею
7.2	2000,00	10,00	По древесине
7.3	1950,00	9,75	По древесине
7.4	1900,00	9,50	По древесине
7.5	1850,00	9,25	По древесине
7.6	1200,00	6,00	По клею

Так как прочность склеивания образцов 1.1 и 2.5 выглядела подозрительной, они были исключены из выборок, и уже по оставшимся результатам определяли среднее значение выборки (прочность) и проводили оценку выборочной дисперсии [13].

Также исключили значения 7.1 и 7.6, так как разрушение произошло по клеевому слою.

Из табл. 1 распределения Стьюдента (приложение) [13] по уровню значимости q (для деревообработки приняли равным 0,05) и числу степеней свободы $f = n - 1 = 5$ нашли $t_{\text{табл}} = 2,78$. Если $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то сомнительный результат является промахом и должен быть исключен из выборки. После этого исследовали следующий за ним сомнительный результат и т. д.

Выборочная дисперсия S^2 для образца 1.1 равна 0,24 МПа, для образца 2.5 – 0,21 МПа. Выборочное стандартное отклонение S для образца 1.1 равно 0,49 МПа, для образца 2.5 – 0,46 МПа. Расчетные критерии Стьюдента $t_{\text{расч}}$ для образца 1.1 равны 6,81, для образца 2.5 – 5,35. Так как $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то подозрительные значения исключили из выборок.

Данные расчета основных статистических показателей выборок представлены в табл. 4. Значение коэффициента вариации, который характеризует относительное рассеивание случайной величины от выборочного среднего, средней квадратичной ошибки выборочного среднего и показателя точности среднего значения, определяли в соответствии с источником [13].

Чем меньше показатель точности, тем надежнее результаты исследования. Для лесной и деревообрабатывающей промышленности показатель точности не должен превышать 5% [13]. В нашем случае показатели точности для всех выборок находились в диапазоне от 1,14 до 4,07, что указывает на достаточную надежность измерений.

Зависимость прочности образца от содержания ускорителя отражена на рис. 4.

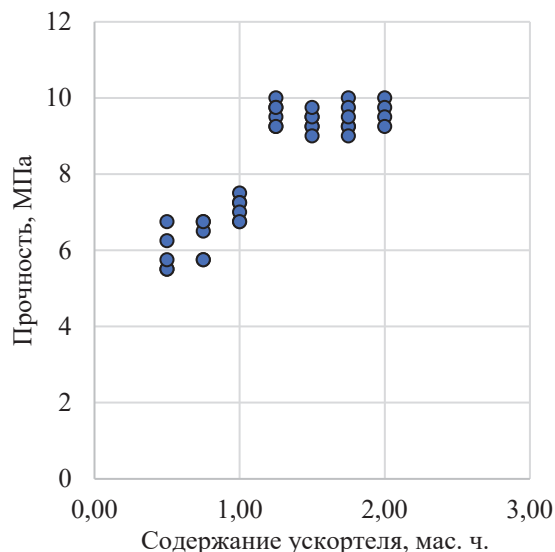


Рис. 4. Зависимость прочности от содержания ускорителя

На основании статистической обработки результатов эксперимента установлено, что при недостаточном количестве катализатора (0,5–1,0 мас. ч) требуемая прочность клеевого соединения не была достигнута, следовательно, реакция протекала не до конца.

При количестве ускорителя 1,5–2,0 мас. ч. прочность полученного клеевого соединения была достигнута, при этом 2 образца под № 7 были исключены из выборки на основании разрушения по клеевому соединению, – это может указывать на то, что избыточное содержание ускорителя может привести к повышению хрупкости отвержденного связующего. Также раствор связующего при добавлении 2,0 мас. ч. ускорителя отличался низкой жизнеспособностью, т. е. через 2 сут он полностью затвердевал.

По совокупности факторов, с учетом технологических свойств полученного препрега (липкость), наилучшие результаты были достигнуты при содержании ускорителя 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола в количестве 1,25 мас. ч.

Таблица 4

Основные статистические показатели выборок

Номер связующего состава	Среднее арифметическое выборки, МПа	Выборочная дисперсия S^2 , МПа	Выборочное стандартное отклонение S , МПа	Объем выборки n	Коэффициент вариации	Средняя квадратичная ошибка	Показатель точности
1	5,95	0,29	0,54	5	9,11	0,24	4,07
2	6,30	0,26	0,51	5	8,13	0,23	3,63
3	7,08	0,09	0,30	6	4,27	0,12	1,75
4	9,58	0,09	0,30	6	3,15	0,12	1,29
5	9,38	0,07	0,26	6	2,80	0,11	1,14
6	9,46	0,14	0,37	6	3,89	0,15	1,59
7	9,63	0,10	0,32	4	3,35	0,16	1,68

Таким образом, исследования подтвердили ранее полученные данные по составу связующего для изготовления препрега, включающего следующие компоненты: 1) эпоксидно-диановая смола (ЭД-20) – 38,5 мас. ч.; 2) фенолформальдегидная смола новолачного типа – 15,0 мас. ч.; 3) 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол – 1,25 мас. ч.; 4) органический растворитель (ацетон) – 60,0 мас. ч.

Заключение. Таким образом, установлена зависимость прочности клеевого соединения, образованного разработанным препрегом, от содержания ускорителя отверждения. Эксперимент позволил сделать вывод, что при недостаточном

его содержании (0,5–1,0 мас. ч.) прочность клеевого соединения не достигала требуемого значения, что может быть связано с неполным отверждением смолы. Избыток ускорителя отверждения (1,5–2,0 мас. ч.) в свою очередь приводил к тому, что клеевое соединение становилось излишне хрупким. Следовательно, за оптимальное содержание ускорителя отверждения в составе связующего приняли 1,25 мас. ч. Оно позволило достигнуть необходимой прочности клеевого соединения при требуемых параметрах отверждения (отверждение в течение 8 ± 1 мин при температуре $120 \pm 2^\circ\text{C}$ и давлении 1 МПа).

Список литературы

1. Матричное связующее на основе эпоксидной смолы для производства препрегов / А. Г. Любимов [и др.] // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 нояб. 2023 г. Минск, 2023. С. 102–105.
2. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из препрега: пат. RU 2307136 / Е. Е. Муханова, Е. Н. Каблов, Е. М. Пониткова, Р. Р. Мухаметов, А. Ф. Румянцев, Н. П. Кувшинов. Оpubл. 27.09.2007.
3. Способ получения связующего для препрега (варианты), связующее для препрега (варианты), препрег и изделие: пат RU 2420547 / А. Е. Ушаков, Ю. Г. Кленин, Т. Г. Соруна, А. П. Коробко, Т. В. Пенская. Оpubл. 10.06.2011.
4. Связующее для армированных пластиков: а. с. SU 1815974 / М. С. Тризно [и др.]. Оpubл. 20.04.1996.
5. Связующее для изготовления препрега: пат. ВУ 24191 / А. В. Полховский, А. Г. Любимов, С. В. Шетько, А. Л. Наркевич, С. А. Прохорчик. Оpubл. 11.01.2023.
6. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе / Л. В. Чурсова [и др.]. СПб.: Профессия, 2020. 576 с.
7. Композиты полимерные. Препреги. Определение содержания компонентов препрега экстракцией по Сокслету: ГОСТ Р 56782–2015. М.: Стандартиформ, 2016. 23 с.
8. Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений: ГОСТ 33120–2014. М.: Стандартиформ, 2016. 20 с.
9. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия: ГОСТ 10587–84. М.: Изд-во стандартов, 1989. 20 с.
10. Ацетон технический. Технические условия: ГОСТ 2768–84. М.: Изд-во стандартов, 1984. 15 с.
11. Сетки из стекловолна. Технические условия: ТУ 23.14.12-001-21387523–2020. М.: Промторг, 2020. 14 с.
12. Полховский А. В., Прохорчик С. А. Оптимизация технологического режима прессования спортивно-беговых пластиковых лыж // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 65–71.
13. Стенина Е. И. Основы научных исследований. Однофакторный эксперимент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 25 с.
14. Пижурин А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для студентов вузов. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.
15. Пижурин А. А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований: текст лекций для студентов. М.: МГУЛ, 1999. 103 с.

References

1. Lyubimov A. G., Polkhovsky A. V., Narkevich A. L., Prokhorchik S. A., Shetko S. V. Matrix binder based on epoxy resin for the production of prepregs. *Neftgazokhimiya – 2023: materialy VI Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke* [Petroleum and gas chemistry – 2023: materials of the VI International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing]. Minsk, 2023, pp.102–105 (In Russian).
2. Mukhanova E. E., Kablov E. N., Ponitkova E. M., Mukhametov R. R., Rumyantsev A. F., Kuvshinov N. R. Epoxy binder, prepreg based on it and a product made from prepreg. Patent RU 2307136, 2007 (In Russian).

3. Ushakov A. E., Klenin Yu. S., Sorina T. G., Korobko A. R., Penskaya T. V. Method for producing binder for prepreg (options), binder for prepreg (options), prepreg and product. Patent RU 2420547, 2011 (In Russian).
4. Trizno M. S. Binder for reinforced plastics. Certificate of authorship SU 1815974, 1996 (In Russian).
5. Polkhovsky A. V., Lyubimov A. G., Shet'ko S. V., Narkevich A. L., Prokhorchik S. A. Binder for making prepreg. Patent BY 24191, 2023 (In Russian).
6. Chursova L. V., Panina N. N., Grebeneva T. A., Kutergina I. Yu. *Epoksidnyye smoly, otverditeli, modifikatory i svyazuyushchiye na ikh osnove* [Epoxy resins, hardeners, modifiers and binders based on them]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2020. 576 p. (In Russian).
7. GOST R 56782–2015. Polymer composites. Prepregs. Determination of the content of prepreg components by Soxhlet extraction. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 23 p. (In Russian).
8. GOST 33120–2014. Glued wooden structures. Methods for determining the strength of adhesive joints. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 20 p. (In Russian).
9. GOST 10587–84. Epoxy-diane resins, uncured. Technical specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 20 p. (In Russian).
10. GOST 2768–84. Technical acetone. Technical specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1984. 15 p. (In Russian).
11. TU 23.14.12-001-21387523–2020. Fiberglass mesh. Technical specifications. Moscow, Promtorg Publ., 2020. 14 p. (In Russian).
12. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A. Optimization of the technological regime for pressing sports and cross-country plastic skis. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2023, vol. 9, no. 4, pp. 65–71 (In Russian).
13. Stenina E. I. *Osnovy nauchnykh issledovaniy. Odnofaktornyy eksperiment* [Fundamentals of scientific research. One-factor experiment]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2020. 25 p. (In Russian).
14. Pizhurin A. A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Fundamentals of scientific research in woodworking]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 305 p. (In Russian).
15. Pizhurin A. A. *Nauchnyye issledovaniya v derevoobrabotke. Osnovy nauchnykh issledovaniy* [Scientific research in woodworking. Fundamentals of Scientific Research]. Moscow, MGUL Publ., 1999. 103 p. (In Russian).

Информация об авторах

Полховский Антон Викторович – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonpolx1@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

Information about the authors

Polkhovsky Anton Viktorovich – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonpolx1@mail.ru

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

Поступила 20.06.2024