

## Исследование влияния изометилтетрагидрофталиевого ангидрида на свойства древесного пластика без добавления связующих на основе древесины лиственных пород

А.Д. Герасимова<sup>a</sup>, О.В. Быкова<sup>b</sup>, М.Е. Сафонова<sup>c</sup>, А.В. Артёмов<sup>d</sup>, А.В. Савиновских<sup>e</sup>, В.Г. Бурындин<sup>f</sup>

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт 37, Екатеринбург, Россия

<sup>a</sup>aringer270198@gmail.com, <sup>b</sup>bykovaov@m.usfeu.ru, <sup>c</sup>msafonova76@gmail.com,

<sup>d</sup>artemovav@m.usfeu.ru, <sup>e</sup>savinovskihav@m.usfeu.ru, <sup>f</sup>buryndinvg@m.usfeu.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-6947-2458>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-1316-7398>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0002-8213-7777>, <sup>d</sup><https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

<sup>e</sup><https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>, <sup>f</sup><https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Статья поступила 18.02.2021, принята 22.02.2021

Ранними исследованиями установлено, что влияние катализаторов типа полиоксометаллатов на процесс образования древесного пластика без связующего (ДП-БС) на основе лиственных и хвойных пород древесины (березы обыкновенной и сосны обыкновенной). Полученные результаты показали, что более положительное влияние катализаторов (снижение температуры прессования, увеличение физико-механических свойств), как раз проявляется именно с ДП-БС на основе лиственных пород древесины. Целью данной работы являлось изучение влияния катализатора на основе изометилтетрагидрофталиевого ангидрида (ИМТГФА) с использованием перекиси водорода в качестве активатора функциональных групп лигноуглеводного комплекса в исходном сырье в виде опилок древесины лиственных пород (береза обыкновенная). По результатам проведенных испытаний при средних значениях можно констатировать следующее: при добавлении катализатора ИМТГФА в пресс-сырье, прочность при изгибе увеличивается на 3...5 %, при этом достигается снижение температура прессования. После проведения оптимизации при добавлении катализатора ИМТГФА в пресс-сырье на основе березовых опилок происходит увеличение прочностных показателей, но при этом не получается достигнуть низких показателей водопоглощения. И, соответственно, при условиях получения пластиков с низкой водостойкостью обуславливает получение материала с низкой твердостью и прочностью при изгибе. Исходное пресс-сырье (хвойные и лиственные породы древесины) при использовании ИМТГФА практически не влияют на показатели водостойкости. В свою очередь, прочностные показатели лиственных пород древесины значительно превосходят показатели хвойных пород.

**Ключевые слова:** древесные пластики, древесные отходы, березовые опилки, лигнин, катализатор, полиоксометаллаты

## Investigation of the effect of isomethyltetrahydrophthalic anhydride on the properties of wood plastics without the addition of hardwood binders

A.D. Gerasimova<sup>a</sup>, O.V. Bykova<sup>b</sup>, M.E. Safonova<sup>c</sup>, A.V. Artyomov<sup>d</sup>, A.V. Savinovskih<sup>e</sup>, V.G. Bryndin<sup>f</sup>

The Ural State Forest Engineering University, 37 Sibirsky trakt st. Yekaterinburg, Russia

<sup>a</sup>aringer270198@gmail.com, <sup>b</sup>bykovaov@m.usfeu.ru, <sup>c</sup>msafonova76@gmail.com,

<sup>d</sup>artemovav@m.usfeu.ru, <sup>e</sup>savinovskihav@m.usfeu.ru, <sup>f</sup>buryndinvg@m.usfeu.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-6947-2458>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-1316-7398>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0002-8213-7777>, <sup>d</sup><https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>,

<sup>e</sup><https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>, <sup>f</sup><https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Received 08.02.2021, accepted 19.02.2021

Early studies have shown that the effect of polyoxometallate-type catalysts on the formation of wood plastic without binder (WP-WR) is based on deciduous and coniferous wood species (Common Birch and Common Pine). The results have shown that a more positive effect of catalysts (reduction of pressing temperature, increase of physical and mechanical properties) is exactly what is shown with WP-WR based on solid wood. The purpose of this work was to study the effect of a catalyst based on isomethyltetrahydrophthalic anhydride (IMTHP) using hydrogen peroxide as an activator of functional groups of the lignocarbon complex in the feedstock in the form of sawdust of hardwood (Common Birch). Based on the results of tests at average values, the following can be stated: when the IMTHP catalyst is added to the press feed, the bending strength increases by 3...5%, and the pressing temperature decreases. After optimization, the addition of the IMTHP catalyst to the press raw material based on birch sawdust leads to an increase in strength indicators, but it is not possible to achieve low water absorption rates. And, accordingly, under the conditions of obtaining plastics with low water re-

sistance, it leads to the production of a material with low hardness and bending strength. The initial press raw material (coniferous and deciduous wood species) when using IMTHP practically does not affect the water resistance indicators. In turn, the strength characteristics of deciduous wood species significantly exceed those of conifers.

**Keywords:** wood plastics; wood waste; birch sawdust; lignin; catalyst; polyoxometallates.

**Введение.** Выполненными работами [1, 2] проведены исследования по влиянию катализаторов типа полиоксометаллатов (на основе ванадомолибденфосфат натрия) на процесс образования древесного пластика без связующего (ДП-БС) на основе лиственных и хвойных пород (березы и сосны обыкновенной). Полученные результаты показали, что наиболее положительное влияние катализатора (снижение температуры прессования, увеличение физико-механических свойств) проявляется непосредственно для ДП-БС на основе лиственных пород древесины [1-2].

Получение пластиков без связующего обусловлено наличием лигноуглеводного комплекса в исходном сырье. Для частичной деструкции лигнина предлагается использовать изометилтетрагидрофталлиевый ангидрид (ИМТГФА), что позволит ускорить формирование трехмерной сетчатой структуры пластика, повысить их физико-механические свойства, а также позволит получать материал при более низкой температуре прессования [3-5].

Целью данной работы являлось изучение влияния катализатора на основе ИМТГФА в качестве активатора функциональных групп лигноуглеводного комплекса в исходном сырье в виде опилок древесины лиственных пород (береза обыкновенная).

#### Методика исследования.

В качестве исходного пресс-сырья использовались березовые опилки (береза обыкновенная). Содержание лигнина в исходном сырье составляло 33,8 %, целлюлозы – 31,6 %, зольность – 0,25 %.

В качестве катализатора использовался изометилтетрагидрофталлиевый ангидрид (ИМТГФА). Концентрация ИМТГФА составляла 0,64 %.

Для исследования свойств пластиков, полученных на основе березовых опилок с добавлением ИМТГФА, с целью оценки влияния одновременно изменяемых технологических факторов при получении данных пластиков, в работе был проведен трехфакторный эксперимент со звездными точками (- $\alpha$  и + $\alpha$ ) [6]. Области изменения факторов представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Области изменения технологических факторов

Название фактора	$Z_i$	min (-1)	max (+1)	min (- $\alpha$ )	max (+ $\alpha$ )
Влажность, %	$Z_1$	8	16	5,27	18,7
Модификатор, г	$Z_2$	2	6	0,64	7,36
Температура прессования, °С	$Z_3$	165	185	158,2	191,8

Постоянными факторами являлись:

- давление прессования – 40 МПа;
- продолжительность прессования – 10 мин;
- продолжительность охлаждения пресс-формы под давлением – 10 мин;

- фракционный состав пресс-сырья – 0,7 мм.

Методом горячего прессования были изготовлены образцы в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2 мм.

Матрица планирования с натуральными и кодированными значениями полного факторного эксперимента со звездными точками представлена далее в табл. 2.

**Таблица 2.** Матрица планирования с натуральными и кодированными значениями полного факторного эксперимента со звездными точками  $\alpha$

№ опыта	Кодированные значения факторов			Натуральные значения факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	1	1	1	16	6	185
2	-1	1	1	8	6	185
3	1	-1	1	16	2	185
4	-1	-1	1	8	2	185
5	1	1	-1	16	6	165
6	-1	1	-1	8	6	165
7	1	-1	-1	16	2	165
8	-1	-1	-1	8	2	165
9	$\alpha$ -	0	0	5,27	4	175
10	$\alpha$ +	0	0	18,7	4	175
11	0	$\alpha$ -	0	12	0,64	175
12	0	$\alpha$ +	0	12	7,36	175
13	0	0	$\alpha$ -	12	4	158,2
14	0	0	$\alpha$ +	12	4	191,8
15	0	0	0	12	4	175

При  $n_0=2$ ,  $\alpha^2=2,164$   $\alpha=\sqrt{2,164}=1,43$   $+\alpha=1,43$   $-\alpha=-1,43$

За выходные параметры были взяты следующие свойства пластиков:

- $Y(P)$  - плотность, г/см<sup>3</sup>;
- $Y(\Pi)$  - прочность при изгибе, МПа;
- $Y(T)$  - твердость, МПа;
- $Y(B)$  - водопоглощение, %;
- $Y(L)$  - разбухание, %;
- $Y(A)$  - ударная вязкость, кДж/м<sup>2</sup>.

Физико-механические свойства полученных пластиков представлены в табл. 3.

Исходя из полученных значений, можно заметить, что образцы, полученные по звездным точкам, превосходят по плотности, прочности при изгибе, водопоглощению образцы, полученные по минимальным и максимальным значениям. А твердость, разбухание и ударная вязкость имеют большие показатели при результатах по максимальным и минимальным значениям, чем по звездным точкам.

**Таблица 3.** Значения физико-механических показателей пластиков на основе березовых опилок с добавлением катализатора ИМТГФА

№	Y(P), г/см <sup>3</sup>	Y(T), МПа	Y(Π), МПа	Y(B), %	Y(L), %	Y(A), кДж/м <sup>2</sup>
1	1049	84,6	17,4	41,5	5,9	3,2
2	1118	61,6	21,4	46,6	5,7	2,6
3	1117	59,7	11	41,2	3,9	2,2
4	1082	42,0	25,2	69,6	11,4	2,5
5	1088	103,5	13,5	67,1	6,0	3,7
6	1008	74,0	17,9	70,1	6,6	2,3
7	1005	67,0	10,3	57,6	6,3	3,8
8	1047	76,6	23,2	78,5	9,9	3,5
9	1004	85,0	19,1	76,9	11,2	2,2
10	1108	68,2	16,4	265,3	19,4	1,132
11	1209	28,4	2,7	95,2	8,8	1,920
12	1313	78,6	20,9	73,9	6,2	3,337
13	1292	56,1	20,03	69,8	7,07	2,646
14	1249	46,4	15,7	111,4	9,8	2,492
15	1236	36,4	17,6	57,5	4,05	2,607

Экспериментально-статистические модели зависимости свойств представлялись в виде полинома с линейными и смешанными эффектами факторов:

$$y = b_0 + b_1 \cdot Z_1 + b_2 \cdot Z_2 + b_3 \cdot Z_3 + b_4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + b_5 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + b_6 \cdot Z_2 \cdot Z_3,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$  – коэффициенты уравнения для входных факторов;

$Z_1, Z_2, Z_3$  – кодированные значения входных факторов.

В результате регрессионного анализа были получены следующие адекватные уравнения регрессии и коэффициенты их корреляции с экспериментальными данными:

$$Y(P) = 6348,26 + 26,067 \cdot Z_1 - 79,67 \cdot Z_2 - 60,94 \cdot Z_3 - 1,13 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 9,85 \cdot Z_2 \cdot Z_2 + 0,18 \cdot Z_3 \cdot Z_3 - 0,04 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 3,4 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 0,00018 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,91)$$

$$Y(\Pi) = -230,095 + 3,84 \cdot Z_1 - 1,41 \cdot Z_2 + 2,59 \cdot Z_3 - 0,21 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 0,18 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,0071 \cdot Z_3 \cdot Z_3 + 0,0011 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 0,00000043 \cdot Z_1 \cdot Z_3 - 0,0000058 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,95)$$

$$Y(T) = -2442,3 + 5,98 \cdot Z_1 - 4,98 \cdot Z_2 + 29,02 \cdot Z_3 - 0,17 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 1,27 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,085 \cdot Z_3 \cdot Z_3 - 0,016 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 1,2 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 3,76 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,96)$$

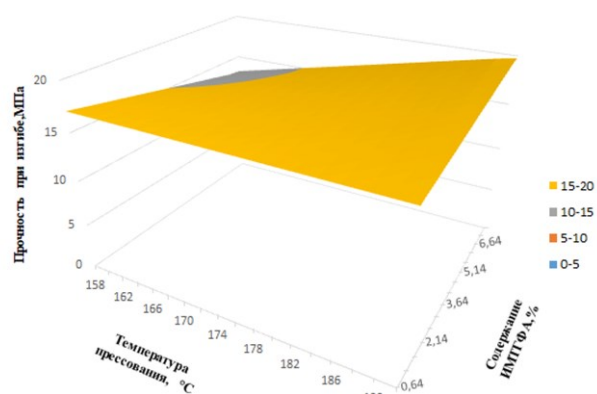
$$Y(B) = -4004,01 - 40,99 \cdot Z_1 + 38,53 \cdot Z_2 + 50,64 \cdot Z_3 + 1,62 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 5,03 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,15 \cdot Z_3 \cdot Z_3 - 0,05 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,00001 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 0,0002 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,98)$$

$$Y(L) = -413,05 - 2,33 \cdot Z_1 + 3,35 \cdot Z_2 + 5,05 \cdot Z_3 + 0,080671 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 0,48 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,02 \cdot Z_3 \cdot Z_3 - 0,00085 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 5,4 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 7,04 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,89)$$

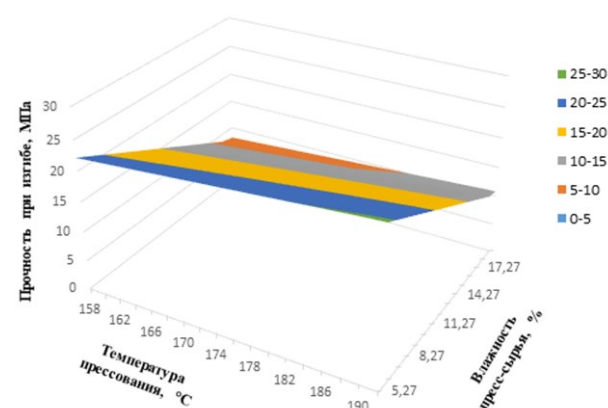
$$Y(A) = 138,58 - 0,051 \cdot Z_1 - 1,29 \cdot Z_2 - 1,52 \cdot Z_3 + 0,0051 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 0,16 \cdot Z_2 \cdot Z_2 + 0,0043 \cdot Z_3 \cdot Z_3 - 2,99 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 3,52 \cdot Z_1 \cdot Z_3 - 5,12 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \quad (1-F=0,66)$$

Все уравнения являются адекватными (кроме показателя по ударной вязкости) при заданных параметрах, но для оптимизации процесса были приняты уравнения по прочности при изгибе и водопоглощению, так как данные показатели являются важными свойствами для исследуемых пластиков [7-9].

По вышеуказанным показателям были построены поверхности откликов (рис. 1-2).



а)



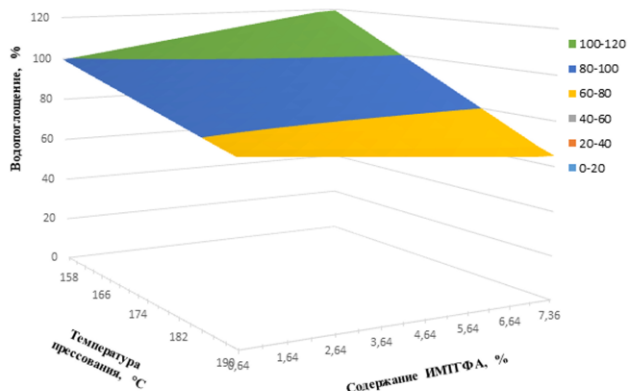
б)

**Рис. 1.** Поверхность зависимости прочности при изгибе пластика от температуры прессования: а) при неизменной влажности пресс-сырья, равной 12%; б) при неизменном содержании ИМТГФА, равной 4 %

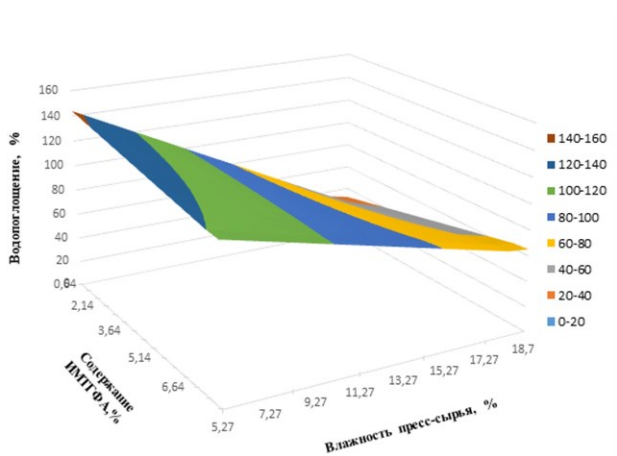
Высокая прочность при изгибе (рис.1а) получаемого материала обусловлена в первую очередь низкой влажностью. Количественное содержание ИМТГФА в пресс-сырье также приводит к увеличению прочности при изгибе получаемого материала. В свою очередь, влажность пресс-сырья приводит к снижению данного показателя у получаемого материала.

Как видно из рис. 2 водопоглощение пластика с увеличением содержания ИМТГФА увеличивается незначительно, а увеличение влажности исходного пресс-сырья в свою очередь приводит к снижению водопоглощения. При этом при содержании ИМТГФА в интервале средних значений, изменение показателей влажности и температуры прессования практически не влияют на данное свойство материала.

Для нахождения рациональных рецептур был применен метод нелинейной оптимизации, исходя из условий максимальной прочности при изгибе и минимального водопоглощения материала [6, 7].



а)



б)

**Рис. 2.** Поверхность зависимости водопоглощения за 24 часа от содержания ИМТГФА: а) при неизменной влажности, равной 12%; б) при неизменной температуре, равной 175 °С

Для получения однозначного решения были введены ограничения, как по диапазону изменения изучаемых факторов, так и физико-механическим свойствам древесного пластика (табл. 4).

**Таблица 4.** Ограничения оптимизации

Наименование фактора	Min(-α)	Max(+α)
Влажность, %	5,27	18,7
Модификатор, г	0,64	7,36
Температура прессования, °С	158,2	191,8

Результаты выполненной оптимизации представлены в табл. 5.

**Таблица 5.** Рациональная рецептура

Фактор	Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение за 24 часа, %
Z <sub>1</sub>	0,6	0,6
Z <sub>2</sub>	9,3	12,7
Z <sub>3</sub>	183,5	168,5

По рациональным значениям рецептуры были изготовлены образцы и определены их физико-

механические свойства. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

**Таблица 6.** Расчетные и экспериментальные значения физико-механических свойств ДП-БС при рациональных условиях

№	Физико-механические свойства	Целевая функция			
		Прочность при изгибе, МПа		Водопоглощение за 24 часа, %	
		значения			
		Расчётные	Экспериментальные	Расчётные	Экспериментальные
1	Прочность при изгибе, МПа	24,8	9,6	20,9	6,9
2	Водопоглощение, %	12	69	27	69

Достигнутые показатели физико-механических свойств образцов ДП-БС полученных по оптимальной рецептуре в целом совпадают с прогнозируемыми. Таким образом, подтверждается высокая точность описания экспериментально-статистическими моделями полученных в результате исследования данных.

**Заключение.** По результатам проведенных испытаний при средних значениях (табл.7), можно констатировать следующее: при добавлении модификатора ИМТГФА в исходное пресс-сырье прочность при изгибе увеличивается на 3...5 %, при этом ухудшается показатель водопоглощения.

После проведения оптимизации при добавлении катализатора ИМТГФА в пресс-сырье на основе березовых опилок происходит увеличение прочностных показателей, но при этом не получается достигнуть низких показателей водопоглощения. И соответственно при условиях получения пластиков с низкой водостойкостью обуславливает получение материала с низкой плотностью и прочностью при изгибе.

Исходное пресс-сырьё (хвойные и лиственные породы древесины) при использовании ИМТГФА практически не влияют на показатели водостойкости. В свою очередь, прочностные показатели лиственных пород древесины значительно превосходят показатели хвойных пород, что подтверждается ранними выполненными работами [1-2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта "FEUG-2020-0013".

**Таблица 7.** Сводная таблица результатов экспериментов определения свойств ДП-БС [1, 2]

Показатели	Опилки березы	Опилки сосны	с ИМТГФА				с ИМТГФА	
			с основными опилками	с березовыми опилками	Оптимизация с березовыми опилками			
					По прочности при изгибе	По водопоглощению		
			Режимы получения материала					
1	2	3	4	5	6	7		
Прочность при изгибе, МПа	17,2	8	12	-	17,5	9,6	6,9	
Твердость, МПа	44,8	29	69	20	77,7	71,8	44,8	
Водопоглощение за 24 часа, %	53,3	59,1	59	34	69,4	69,4	62,8	
Разбухание за 24 часа, %	2,7	6	5	1	9,2	6,4	6,4	
Ударная вязкость, кгс/см <sup>2</sup>	4,1	-	-	-	1,8	1,3	1,4	
Примечание: 1. W=12%, T=175 °C 2. W=12%, T=180 °C 3. ГЛ - 3%, ИМТГФА - 4%, W=6%, T=180 °C 4. ГЛ - 68%, ИМТГФА - 2,5%, W=17,9%, T=180 °C 5. W=12%, ИМТГФА - 4%, T=175 °C 6. ИМТГФА - 9,2%, T=168,5 °C 7. ИМТГФА - 12,7%, T=183,45 °C (W – влажность пресс-сырья, T – температура прессования)								

*Литература*

- Буриндин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В., Шкуро А.Е. Исследование получения древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины лиственных пород в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 70-75.
- Буриндин В.Г., Бельчинская Л.И., Савиновских А.В., Артёмов А.В., Кривоногов П.С. Изучение получения древесных и растительных пластиков без связующих в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 128-134.
- Савиновских А.В., Буриндин В.Г., Стоянов О.В., Ахтямова С.С., Масленникова Е.В. Закономерности образования растительных пластиков на основе шелухи пшеницы без добавления связующих // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2014. Т. 17. № 13. С. 231-233.
- Савиновских А.В., Артемов А.В., Буриндин В.Г. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2012. Т. 15. № 3. С. 37-40.
- Савиновских А.В., Артёмов А.В., Буриндин В.Г. Влияние модификаторов на физико-механические свойства древесных пластиков без добавления связующих // Вестн. Московского гос. ун-та леса. Лесной вестн. 2016. Т. 20. № 3. С. 55-59.
- Глухих В.В. Прикладные научные исследования. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 240 с.
- Катраков И.Б. Древесные композиционные материалы без синтетических связующих: моногр. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2012. 164 с.
- Артёмов А.В., Буриндин В.Г., Глухих В.В., Дедюхин В.Г. Исследование физико-механических свойств древесных пластиков, полученных методом экструзии // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2009. № 6. С. 101-106.
- Казин С.Н., Баяндин М.А., Намятов А.В., Ермолин В.Н. Исследование водо- и влагопоглощения плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 48. С. 42-45.

*References*

- Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskih A.V., SHkuro A.E. Investigation of the production of wood plastics without the addition of binders based on hardwood in the presence of catalysts such as polyoxometallates // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2020. № 2 (46). P. 70-75.
- Buryndin V.G., Bel'chinskaya L.I., Savinovskih A.V., Artyomov A.V., Krivonogov P.S. Study of the production of wood and plant plastics without binders in the presence of catalysts such as polyoxometallates // Forestry Engineering Journal. 2018. V. 8. № 1 (29). P. 128-134.
- Savinovskih A.V., Buryndin V.G., Stoyanov O.V., Ahtyamova S.S., Maslennikova E.V. Regularities of the formation of plant plastics based on wheat husk without the addition of binders // Herald of Kazan Technological University (KNRTU). 2014. V. 17. № 13. P. 231-233.
- Savinovskih A.V., Artemov A.V., Buryndin V.G. Patterns of formation of wood plastics without the addition of binders using differential scanning calorimetry // Herald of Kazan Technological University (KNRTU). 2012. V. 15. № 3. P. 37-40.
- Savinovskih A.V., Artyomov A.V., Buryndin V.G. Effect of modifiers on the physical and mechanical properties of wood plastics without the addition of binders // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2016. V. 20. № 3. P. 55-59.
- Gluhih V.V. Applied scientific research. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016. 240 p.
- Katrakov I.B. Wood composite materials without synthetic binders: monogr. Barnaul: Izd-vo Altajskogo un-ta, 2012. 164 p.

8. Artyomov A.V., Buryndin V.G., Gluhih V.V., Dedyuhin V.G. Investigation of the physical and mechanical properties of wood plastics obtained by extrusion // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2009. № 6. P. 101-106.
9. Kazicin S.N., Bayandin M.A., Namyatov A.V., Ermolin V.N. Investigation of water and moisture absorption of plates without binders from mechanically activated wood particles // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2017. № 48. P. 42-45.