

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17>ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИКОВ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ
ЛИСТЬЕВ ФИНИКОВОЙ ПАЛЬМЫ

Научная статья

Артёмов А.В.^{1,*}, Ершова А.С.², Якимова А.Б.³¹ ORCID : 0000-0001-6994-0154;² ORCID : 0000-0001-6248-0028;³ ORCID : 0000-0002-0954-6144;^{1,2,3} Уральский Государственный Лесотехнический Университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tom-art[at]ya.ru)

Аннотация

На сегодня в нашей стране образуется очень большое количество отходов в виде растительных остатков (например, от культурных растений – шелуха пшеницы, риса; от сорняковых растений – порубочные остатки борщевика; от лиственных деревьев – лиственной опад), которые не находят должного применения в качестве альтернативного источника сырья. Интерес представляет использование растительных остатков в виде листьев финиковой пальмы, которой богата южная часть нашей страны (побережье Черного моря). Лиственной опад финиковой пальмы не находит должного применения, а просто подвергается естественному гниению на поверхности земли, либо его подвергают сжиганию, что наносит непосредственный вред окружающей среде. В данной работе методом математического планирования изучается возможность получения пластиков без связующих веществ на основе листьев финиковой пальмы.

Ключевые слова: пластики, финиковая пальма, лиственной опад, физико-механические свойства, математическое планирование.

A STUDY OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING BINDER-FREE PLASTICS BASED ON DATE PALM LEAVES

Research article

Artyomov A.V.^{1,*}, Yershova A.S.², Yakimova A.B.³¹ ORCID : 0000-0001-6994-0154;² ORCID : 0000-0001-6248-0028;³ ORCID : 0000-0002-0954-6144;^{1,2,3} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (tom-art[at]ya.ru)

Abstract

Nowadays in our country there is a lot of waste in the form of plant residues (e.g. from cultivated plants – husks of wheat, rice; from weed plants – slashing residues of cow parsnip; from deciduous trees - leaf litter), which are not properly used as an alternative source of raw materials. Of interest is the use of plant remains in the form of leaves of date palm, which is rich in the southern part of our country (the Black Sea coast). The leaf residue from the date palm is not put to proper use, but simply rots away on the ground or is burnt, which causes direct harm to the environment. In this work, the possibility of producing plastics without binders based on date palm leaves is studied by mathematical planning method.

Keywords: plastics, date palm, leaf fall, physical and mechanical properties, mathematical planning.

Введение

В настоящее время мировой экономикой уделяется большое внимание использованию технологий по вопросам утилизации различных отходов с получением современных материалов, в том числе из не востребуемых остатков различных культурных и дикорастущих растений.

Интерес представляет финиковая пальма: данное растение широко культивируется по всему миру. Одно из преимуществ данных растений – это быстрая их возобновляемость (обычно пальмы вырастают за 3-5 лет). При этом возможно использование не только самой ее древесины, но и также листьев (финиковая пальма может приносить до 20 кг листьев в год) [1], [2], [3].

Так, например, авторы работы [4] установили, что свойства композита на основе вторичного полипропилена могут быть улучшены при использовании муки из древесины финиковой пальмы в качестве армирующего агента.

Было доказано [5] что, влияние различных условий СВЧ нагрева поверхности натурального наполнителя, извлеченного из плодоножек финиковой пальмы, повышает кристалличность, снижает чувствительность к влаге и предотвращает деградацию волокна при высокой прочности и удлинении при разрыве получаемых композитов. Данный метод позволяет удалять имеющийся воскообразный слой на необработанной поверхности наполнителя, который не полностью удаляется щелочью во время предобработки.

С помощью дифференциально-термического и термогравиметрического анализа было установлено [6], что температура разложения композитов на основе вторичного полипропилена и волокон финиковой пальмы существенно не отличается от температуры разложения чистого полимера. Были обнаружены две стадии термического разложения

композита: первая стадия происходила при температуре, значительно более низкой, чем температура разложения волокна, а на второй стадии деструкция происходит главным образом в самом полимере.

В работе [7] рассматривается получение композиционных материалов на основе вторичной переработки смешанных пластиковых отходов (полистирола, поликарбоната и поливинилхлорида) и отходов листьев финиковой пальмы методом экструзии при различных температурах. Древесно-полимерные композиты на предлагаемом сырье обладают меньшим водопоглощением и твердостью, и более высокой плотностью, чем натуральная древесина и МДФ, и могут использоваться в конструкциях наружного применения.

Исследование [8] показало, что отходы в виде листьев финиковой пальмы могут быть использованы для производства упаковки из биоразлагаемой пленки. Биоразлагаемая пленка была изготовлена путем экструзии с раздувом термопластической смолы на основе полимолочной кислоты, смешанной с измельченными листьями финиковой пальмы. Добавление измельченных листьев финиковой пальмы с оптимальным значением 1 масс.% имеет положительный эффект: приводит к увеличению прочности на разрыв и удлинения при разрыве примерно на 29% и 12% соответственно.

Смесь переработанных полиолефинов и листьев финиковой пальмы показала свою высокую термостабильность, низкую теплопроводность и высокую прочность композитов на их основе. Данные материалы могут использоваться в теплоизоляционных целях [9].

Сегодня юг и побережье Черного моря России представлены богатым растительным миром, в том числе и финиковой пальмой (*Phoenix canariensis* Chab.) [10], [11], [12].

Массовое произрастание данного растения приводит к образованию не востребуемых отходов в виде листового опада. Требования действующего природоохранного законодательства стимулируют поиск путей вовлечения данного вида отхода в хозяйственный оборот в качестве дополнительного источника сырья.

Например, в работах [13], [14] рассмотрена возможность использования отхода листьев финиковой пальмы в качестве сорбента для очистки воды от ионов металлов.

Также рассматривается [15] потенциальное применение листового опада финиковой пальмы в качестве природного наполнителя с целью получения композиционных материалов на основе полимерной матрицы.

Для получения пластиков без связующих (ПБС) чаще всего используются сырье на основе традиционной древесины, но может быть применено и растительное сырье недревесного происхождения (шелуха, костра, листья и проч.) [16]. Так, в работе [17] было рассмотрено получение ПБС на основе фитомассы листьев японского банана (*Musa basjoo*). Полученные образцы ПБС на данном сырье по физико-механическим свойствам соответствовали показателям образцов полученных на основе традиционной древесины нашей страны.

Целью данной работы являлось изучение возможности получения ПБС на основе листового опада финиковой пальмы. Получение ПБС на данном сырье позволит выработать перспективные решения по утилизации не востребуемых растительных остатков за счет вовлечения в хозяйствующий оборот в качестве дополнительного источника сырья с получением изделий на основе пластиков растительного происхождения.

Методы и принципы исследования

В качестве исходного сырья использовалось недревесное растительное сырье – листья финиковой пальмы (*Phoenix*) с фракционным составом менее 1,2 мм и исходной влажностью 6%.

Образцы ПБС на основе данного пресс-сырья были получены согласно составленному математическому плану Бокса-Уилсона, позволяющему проводить многофакторные отсеивающие эксперименты и предварительно оценить влияние одновременно изменяемых технологических факторов [18].

Варьируемыми факторами (Z_i) в эксперименте являлись:

- влажность наполнителя, % (Z_1);
- температура прессования, °C (Z_2).

Область изменения входных факторов представлена в табл.1.

Таблица 1 - Диапазон изменения варьируемых факторов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.1>

Название параметра	Z_i	Значение параметра	
		min (-1)	max (+1)
Влажность наполнителя, %	Z_1	6	18
Температура прессования, °C	Z_2	155	185

Матрица планирования эксперимента с кодированными и натуральными значениями изменяемых факторов по плану Бокса-Уилсона представлена в табл. 2.

Таблица 2 - Матрица планирования эксперимента с кодированными и натуральными значениями варьируемых факторов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.2>

№ опыта	Формализованные входные факторы		Натуральные значения факторов	
	X ₁	X ₂	Z ₁	Z ₂
1	1	-1	16	180
2	1	1	16	160
3	-1	-1	8	180
4	-1	1	8	160
5	0	1,47	12	185
6	0	-1,47	12	155
7	1,47	0	18	170
8	-1,47	0	6	170
9	0	0	12	170

За выходные параметры были взяты следующие свойства материала (образцов) на базе приготовленных композиций:

- Y₁ – плотность материала, кг/м³;
- Y₂ – модуль упругости при изгибе, МПа;
- Y₃ – прочность при изгибе, МПа;
- Y₄ – твёрдость по Бринеллю, МПа;
- Y₅ – число упругости, %;
- Y₆ – водопоглощение за 24 часа, %;
- Y₇ – разбухание по толщине за 24 часа, %;
- Y₈ – ударная вязкость, кДж/м².

Были изготовлены образцы-диски диаметром 90 мм и толщиной 2 мм методом горячего компрессионного прессования при следующих условиях: давление прессования – 40 МПа, продолжительность прессования – 10 мин, продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин.

После кондиционирования в комнатных условиях (24 часа), образцы подвергались испытанию на физико-механические свойства. Физико-механические показатели образцов были определены в трех параллелях и обработаны методами математической статистики.

Основные результаты

Средние арифметические значения полученных результатов приведены в табл.3.

Таблица 3 - Средние значения физико-механических свойств образцов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.3>

№	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈
1	1008	7048	12,1	179	57	43	27,9	3,304
2	1095	6568	10,2	178	45	52	34,3	2,890
3	1033	5826	14,5	179	66	40	29,8	3,035
4	1054	7917	9	178	71	46	39,1	2,910
5	1109	6397	18,2	178	51	29	19,3	2,048
6	1024	7676	13,4	178	68	45	37,8	2,384
7	986	6171	8,9	178	46	50	31,5	2,533
8	1061	7096	9,2	178	58	48	34,8	3,063
9	1071	7228	14	178	68	39	23,5	2,205

Для получения математических моделей изменения свойств изделий в зависимости от величин варьируемых факторов с использованием пакета анализа программы Microsoft Excel был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента с вероятностной оценкой адекватности полученных моделей экспериментальным данным по коэффициенту корреляции R².

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

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

где b₀, b₁, b₂, b₃, b₄ – коэффициенты уравнения для входных факторов;

Z₁, Z₂ – кодированные значения входных факторов.

В результате регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрессии и коэффициенты их корреляции:

$$y_1 = -555,98 + 99,01607 \cdot Z_1 - 12,1214 \cdot Z_2 - 1,32205 \cdot Z_1^2 - 0,02042 \cdot Z_2^2 - 0,4125 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,34);$$

$$y_2 = 19371,93 - 2373,63 \cdot Z_1 + 69,23775 \cdot Z_2 - 16,77507 \cdot Z_1^2 - 0,892901 \cdot Z_2^2 + 16,06875 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,96);$$

$$y_3 = 113,8045 + 7,261705 \cdot Z_1 - 1,85837 \cdot Z_2 - 0,14522 \cdot Z_1^2 + 0,006765 \cdot Z_2^2 - 0,0225 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,96);$$

$$y_4 = 190,1208 - 0,08054 \cdot Z_1 - 0,15902 \cdot Z_2 + 0,003356 \cdot Z_1^2 + 0,000537 \cdot Z_2^2 + 0,000011 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,31);$$

$$y_5 = -730,24 - 9,37971 \cdot Z_1 + 10,38834 \cdot Z_2 - 0,42673 \cdot Z_1^2 - 0,03494 \cdot Z_2^2 + 0,10625 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,77);$$

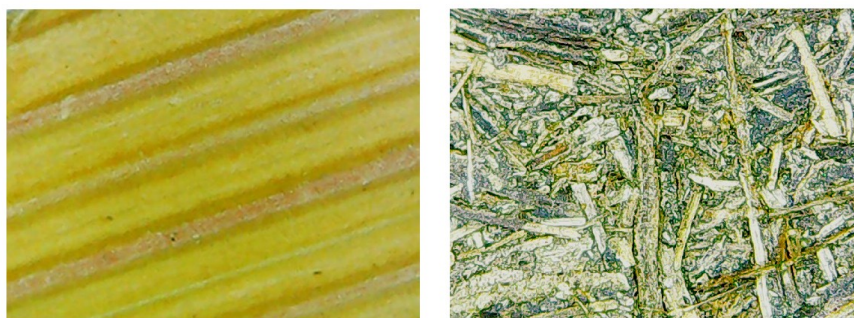
$$y_6 = -55,501 - 3,56023 \cdot Z_1 + 1,804655 \cdot Z_2 + 0,295861 \cdot Z_1^2 - 0,006 \cdot Z_2^2 - 0,01875 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,93);$$

$$y_7 = 927,127 - 10,2988 \cdot Z_1 - 9,36077 \cdot Z_2 + 0,286456 \cdot Z_1^2 + 0,025389 \cdot Z_2^2 + 0,018125 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,92);$$

$$y_8 = 27,89474 - 0,80887 \cdot Z_1 - 0,24282 \cdot Z_2 + 0,020239 \cdot Z_1^2 + 0,000652 \cdot Z_2^2 + 0,001806 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2=0,37).$$

Обсуждение

1. Первоначальный анализ табл.3, показывает, что показатель твердость (который находится в пределах 178-179 МПа), в исследуемом интервале изменяемых факторов, практически от них не зависит. Т.е. твердость получаемого материала в первую очередь зависит от исходного пресс-сырья, а не от условий его получения. Частично такой вывод подтверждают данными микроскопирования лицевой поверхности исходного листа финиковой пальмы и ПБС полученного на его основе (см. рис. 1) – это монолитность листовой и плитной поверхности (для ПБС характерно наличие включений в виде крупных частиц волокон).



а

б

Рисунок 1 - Микрофото лицевой поверхности:

а – исходный лист финиковой пальмы; б – ПБС на основе измельченного листа финиковой пальмы

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.4>

2. Высокие значения достоверности для параметров оптимизации (при $R^2 \geq 0,92$), дают основание для применения уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации:

- Y_2 – модуль упругости при изгибе, МПа;

- Y_3 – прочность при изгибе, МПа;

- Y_6 – водопоглощение за 24 часа, %

- Y_7 – разбухание по толщине за 24 часа, %.

С помощью данных уравнений регрессии были построены графические зависимости свойств ПБС от изучаемых факторов. (см.рис.2, 3).

3. Как видно из рис.2а прочность при изгибе постоянно возрастает с повышением температуры и достигает точки максимума при влажности пресс-сырья 11%. В свою очередь, модуль упругости имеет максимальное значение при наименьшей температуре прессования (155 °С) и минимальной влажности пресс-сырья (6 %) (рис.2б). Это говорит о том, что упругость получаемого ПБС обуславливается наличием волокон измельченного финикового листа (см.рис.1б), а на прочностные показатели оказывают влияние именно условия получения: жесткие условия пьзотермической обработки в условиях умеренного количества влаги (свободной воды в пресс-сырье).

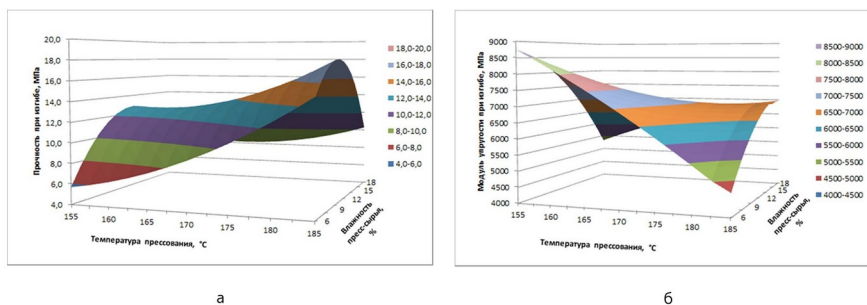


Рисунок 2 - Зависимость прочностных показателей ПБС на основе листьев финиковой пальмы от температуры прессования и влажности пресс-сырья:

а – прочность при изгибе; б – модуль упругости при изгибе

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.5>

4. Исходя из рис.3а показатель водопоглощения ПБС имеет тенденцию к снижению (с 52 до 40 %) с увеличением температуры прессования и достигает минимума при влажности пресс-сырья 12%. Показатель разбухания по толщине ПБС имеет аналогичную тенденцию до температуры прессования 184 °С – снижение с 51 до 30%. Влияние влажности пресс-сырья на разбухание материала аналогично показателю водопоглощения: точки максимума 34 и 24 % наблюдаются при минимальном и максимальном значении влажности соответственно (рис.3б).

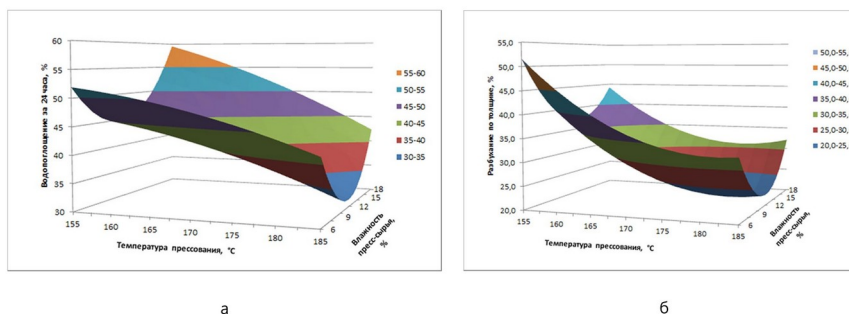


Рисунок 3 - Зависимость показателей водостойкости ПБС на основе листьев финиковой пальмы от температуры прессования и влажности пресс-сырья:

а – водопоглощение за 24 часа; б – разбухание по толщине 24 часа

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.17.6>

Заключение

Таким образом, по результатам выполненного исследования на основании анализа поверхностей откликов можно сделать вывод о том, что рациональными режимами прессования ПБС на основе листьев финиковой пальмы можно принять: температура прессования – 185 °С и влажность пресс-сырья – 12%.

Финансирование

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

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education within the framework of the scientific project "FEUG-2020-0013"

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Yang C. First Report of Neovaginatipora Fuckelii Causing Leaf Spot on Phoenix Canariensis / C. Yang, X. Xu, Q. Zeng [et al.] // Plant Disease. — 2021. — Vol. 105. — 1. — p. 223. — DOI: 10.1094/PDIS-05-20-1079-PDN.
2. Huong Le.T.L. Somatic Embryogenesis in Canary Island Date Palm / Le.T.L. Huong, M. Baiocco, B.Ph. Huy [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. — 1999. — Vol. 56. — 1. — p. 1-7.

3. Obón C. What Are Palm Groves of Phoenix? Conservation of Phoenix Palm Groves in the European Union / C. Obón, E. Carreño, D. Rivera [et al.] // *Biodiversity and Conservation*. — 2018. — Vol. 27. — 8. — p. 1905-1924. — DOI: 10.1007/s10531-018-1516-z.
4. Tan S.J. Properties of Recycled High-Density Polyethylene/Water Hyacinth Fiber Composites: the Effect of Different Concentration of Compatibilizer / S.J. Tan, S.A. Ghani, K.M. Chong. // *Polymer Bulletin*. — 2015. — 72(8). — p.1-13. — DOI: 10.1007/s00289-015-1387-3.
5. Nassar M.M.A. Preparation of High-Performance Fiber from Natural Fiber (Date Palm) / M.M.A. Nassar, K. Alzebedeh, A. Munam [et al.] // *World Intellectual Property Organization (WIPO)*. — 2020. — p. 1.
6. Lei Y. Preparation and Properties of Recycled HDPE/Natural Fiber Composites / Y. Lei, Q. Wu, F. Yao [et al.] // *Compos. Part A*. — 2007. — 38. — p. 1664-1674.
7. Binhusain M.A. Palm Leave and Plastic Waste Wood Composite for Out-Door Structures / M.A. Binhusain, M.M. El-Tonsy // *Construction and Building Materials*. — 2013. — Vol. 47. — p. 1431-1435.
8. Kharrat F. Minimally Processed Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Leaves as Natural Fillers and Processing Aids in Poly(lactic acid) Composites Designed for the Extrusion Film Blowing of Thin Packages / F. Kharrat, M. Khlif, L. Hilliou [et al.] // *Industrial Crops and Products*. — 2020. — 154. — DOI: 112637. 10.1016/j.indcrop.2020.112637.
9. Zadeh K.M. Effects of Date Palm Leaf Fiber on the Thermal and Tensile Properties of Recycled Ternary Polyolefin Blend Composites / K.M. Zadeh, I.M. Inuwa, R. Arjmandi [et al.] // *Fibers Polym.* — 2017. — 18. — p. 1330-1335. — DOI: 10.1007/s12221-017-1106-9.
10. Жегулова И.В. Экзотарии в системе зеленого строительства Ростова-на-Дону / И.В. Жегулова, Б.Л. Козловский // *Инженерный вестник Дона*. — 2013. — 3(26). — с. 99.
11. Карпун Ю.Н. Особенности породного состава декоративных древесных растений, массово распространённых в районе Сочи / Ю.Н. Карпун, В.А. Кунина // *Садоводство и виноградарство*. — 2014. — 5. — с. 43-48.
12. Плугатарь Ю.В. Результаты интродукции финика Канарского (*Phoenix canariensis* Chab.) на Южном берегу Крыма / Ю.В. Плугатарь, А.П. Максимов, Н.Н. Трикоз [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. — 2018. — 2. — с. 221-229.
13. Фалих Х.А.А.Ф. Изучение сорбционных свойств материалов на основе финиковой пальмы / Х.А.А.Ф. Фалих, Ю.А. Смятская // *Химия. Экология. Урбанистика*. — 2020. — Т. 2020-1. — с. 25-27.
14. Политаева Н.А. Сорбционный материал на основе хитозана-графена-бетулина-листьев финиковой пальмы для очистки стоков / Н.А. Политаева, Ф.Х.А. Аль-Фради, В.П. Челышева // *Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции*. — Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. — с. 323-326.
15. Чащилов Д.В. Растительные волокна и применение полимерных композиционных материалов на их основе. Обзор / Д.В. Чащилов, Е.В. Атысова, А.Н. Блазнов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. — 2021. — 12. — с. 18-27. — DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-12-18-27.
16. Артемов А.В. Исследование свойств пластиков без добавления связующих веществ на основе фитомассы бурых водорослей / А.В. Артемов, А.С. Ершова, Н.Г. Власов // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2022. — 8(122). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.122.38.
17. Артемов А.В. Пластики без связующих на основе фитомассы банановых листьев: свойства и биоразлагаемость / А.В. Артемов, А.С. Ершова, А.Б. Якимова // *Journal of Agriculture and Environment*. — 2022. — 3(23). — DOI: 10.23649/jae.2022.3.23.03.
18. Просвирников Д.Б. Многофакторное моделирование свойств плитных древесно-композиционных материалов, полученных на основе активированных лигноцеллюлозных волокон / Д.Б. Просвирников, Р.Р. Сафин, Р.Р. Козлов // *Деревообрабатывающая промышленность*. — 2019. — 4. — с. 15-27.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yang C. First Report of *Neovaginatispora Fuckelii* Causing Leaf Spot on Phoenix *Canariensis* / C. Yang, X. Xu, Q. Zeng [et al.] // *Plant Disease*. — 2021. — Vol. 105. — 1. — p. 223. — DOI: 10.1094/PDIS-05-20-1079-PDN.
2. Huong Le.T.L. Somatic Embryogenesis in Canary Island Date Palm / Le.T.L. Huong, M. Baiocco, B.Ph. Huy [et al.] // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. — 1999. — Vol. 56. — 1. — p. 1-7.
3. Obón C. What Are Palm Groves of Phoenix? Conservation of Phoenix Palm Groves in the European Union / C. Obón, E. Carreño, D. Rivera [et al.] // *Biodiversity and Conservation*. — 2018. — Vol. 27. — 8. — p. 1905-1924. — DOI: 10.1007/s10531-018-1516-z.
4. Tan S.J. Properties of Recycled High-Density Polyethylene/Water Hyacinth Fiber Composites: the Effect of Different Concentration of Compatibilizer / S.J. Tan, S.A. Ghani, K.M. Chong. // *Polymer Bulletin*. — 2015. — 72(8). — p.1-13. — DOI: 10.1007/s00289-015-1387-3.
5. Nassar M.M.A. Preparation of High-Performance Fiber from Natural Fiber (Date Palm) / M.M.A. Nassar, K. Alzebedeh, A. Munam [et al.] // *World Intellectual Property Organization (WIPO)*. — 2020. — p. 1.
6. Lei Y. Preparation and Properties of Recycled HDPE/Natural Fiber Composites / Y. Lei, Q. Wu, F. Yao [et al.] // *Compos. Part A*. — 2007. — 38. — p. 1664-1674.
7. Binhusain M.A. Palm Leave and Plastic Waste Wood Composite for Out-Door Structures / M.A. Binhusain, M.M. El-Tonsy // *Construction and Building Materials*. — 2013. — Vol. 47. — p. 1431-1435.
8. Kharrat F. Minimally Processed Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Leaves as Natural Fillers and Processing Aids in Poly(lactic acid) Composites Designed for the Extrusion Film Blowing of Thin Packages / F. Kharrat, M. Khlif, L. Hilliou [et al.] // *Industrial Crops and Products*. — 2020. — 154. — DOI: 112637. 10.1016/j.indcrop.2020.112637.

9. Zadeh K.M. Effects of Date Palm Leaf Fiber on the Thermal and Tensile Properties of Recycled Ternary Polyolefin Blend Composites / K.M. Zadeh, I.M. Inuwa, R. Arjmandi [et al.] // *Fibers Polym.* — 2017. — 18. — p. 1330-1335. — DOI: 10.1007/s12221-017-1106-9.
10. Zhegulova I.V. Jekzotarii v sisteme zelenogo stroitel'stva Rostova-na-Donu [Ekzotarii in Landscaping of Rostov-on-Don] / I.V. Zhegulova, B.L. Kozlovskij // *Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*. — 2013. — 3(26). — p. 99. [in Russian]
11. Karpun Yu.N. Osobennosti porodnogo sostava dekorativnyh drevesnyh rastenij, massovo rasprostranyonnyh v rajone Sochi [Species Composition of Ornamental Woody Plants, Massively Widespread in Sochi] / Yu.N. Karpun, V.A. Kunina // *Sadovodstvo i vinogradarstvo [Gardening and Viticulture]*. — 2014. — 5. — p. 43-48 [in Russian]
12. Plugatar Yu.V. Rezul'taty introdukcii finika Kanarskogo (Phoenix canariensis Chab.) na YUzhnom beregu Kryma [Results of Introduction of Canary Island Date Palm (Phoenix canariensis Chab.) at the Southern Coast of Crimea] / Yu.V. Plugatar, A.P. Maksimov, N.N. Trikoz [et al.] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]*. — 2018. — 2. — p. 221-229 [in Russian]
13. Falih H.A.A.F. Izuchenie sorbcionnyh svojstv materialov na osnove finikovej pal'my [Study of Sorption Properties of Materials on the Basis of a Palm] / H.A.A.F. Falih, Ju.A. Smjatskaja // *Himija. Jekologija. Urbanistika [Chemistry. Ecology. Urban studies]*. — 2020. — Vol. 2020-1. — p. 25-27. [in Russian]
14. Politaeva N.A. Sorbcionnyj material na osnove hitozana-grafena-betulina-list'ev finikovej pal'my dlja ochistki stokov [Sorption Material Based on Chitosan-Graphene-Betulin-Date Palm Leaves for Wastewater Treatment] / N.A. Politaeva, F.H.A. Al'-Fradi, V.P. Chelysheva // *Nedelja nauki ISI [ISI Science Week]: collection of materials of the All - Russian Conference.* — Saint-Petersburg: POLITEH-PRESS, 2022. — p. 323-326. [in Russian]
15. Chashchilov D.V. Rastitel'nye volokna i primenenie polimernyh kompozicionnyh materialov na ih osnove. Obzor [Vegetable Fibers and Use of Polymer Composite Materials Based on Them. Review] / D.V. chashchilov, E.V. Atyasov, A.N. Blaznov // *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravocnik [All Materials. Encyclopedic Reference]*. — 2021. — 12. — p. 18-27. — DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-12-18-27 [in Russian]
16. Artyomov A.V. Issledovanie svojstv plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih veshchestv na osnove fitomassy buryh vodoroslej [Study of Properties of Plastics without Added Binding Agents Based on Phytomass of Brown Algae] / A.V. Artyomov, A.S. Yershova, N.G. Vlasov // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]*. — 2022. — 8(122). — DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-12-18-27 [in Russian]
17. Artyomov A.V. Plastiki bez svyazuyushchih na osnove fitomassy bananovyh list'ev: svojstva i biorazlagaemost' [Plastics Without Binders Based on Banana Leaf Phytomass: Properties and Biodegradability] / A.V. Artyomov, A.S. Yershova, A.B. Yakimova // *Journal of Agriculture and Environment.* — 2022. — 3(23). — DOI: 10.23649/jae.2022.3.23.03 [in Russian]
18. Prosvirnikov D.B. Mnogofaktorное моделирование свойств плитных древесно-композиционных материалов, полученных на основе активированных лигноцеллюлозных волокон [Multifactor Modeling of Properties of Plate Wood Composition Materials Based on Activated Ligno Cellulose Fibers] / D.B. Prosvirnikov, R.R. Safin, R.R. Kozlov // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Woodworking Industry]*. — 2019. — 4. — p. 15-27 [in Russian]