

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_289-295

УДК 620.22:504.05:338.45

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОКОМПОЗИТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

STATISTICAL STUDY OF PRODUCTION AND USE OF BIOCOMPOSITES IN VARIOUS INDUSTRIES

Повалюхин Д.В., студент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Стородубцева Т.Н., доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Морковин В.А., кандидат технических наук, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Povaliukhin D.V., student of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Storodubtseva T.N., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Morkovin V.A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: Биокompозиты, как экологически чистые материалы, находят все более широкое применение благодаря своим уникальным свойствам. Исследование охватывает последние статистические данные о производстве биокompозитов, анализирует ключевые факторы, способствующие их распространению, а также оценивает их использование в различных отраслях. Особый акцент сделан на развитие биокompозитов в последние годы, а также на прогнозы их роста в будущем, основанные на современных рыночных тенденциях и изменениях в предпочтениях потребителей. В статье рассматриваются вызовы и ограничения, с которыми сталкиваются производители, включая вопросы сырьевой базы, технологий переработки и нормативного регулирования. Результаты исследования подчеркивают значимость биокompозитов как части устойчивого развития, а также их потенциал в сокращении углеродного следа и минимизации экологического воздействия.

Abstract: Biocomposites, as environmentally friendly materials, are increasingly used due to their unique properties. The study covers the latest statistics on the production of biocomposites, analyzes the key factors contributing to their spread, and assesses their use in various industries. Particular emphasis is placed on the development of biocomposites in recent years, as well as projections of their future growth based on current market trends and changes in consumer preferences. The article also discusses the challenges and limitations faced by manufacturers, including issues of raw materials, processing technologies, and regulatory frameworks. The results of the study highlight the importance of biocomposites as part of sustainable development, as well as their potential to reduce carbon footprint and minimize environmental impact.

Ключевые слова: биокompозиты, композитные материалы с применением натуральных волокон, альтернативные биоразлагаемые материалы.

Keywords: biocomposites, composite materials using natural fibers, alternative biodegradable materials.

Для использования в технических целях пригодно большое количество материалов в основе которых применяют натуральное волокно. Такие волокна возможно получить из некоторых видов растений переработав их листья и стебли [1]. Также к способам получения натуральных отходов можно отнести переработку текстиля. Основными преимуществами таких материалов является экологичность, отсутствие токсичных веществ в их составе и выполняемость сырьевой базы.

Физические и механические свойства материалов подобного типа могут конкурировать с их синтетическими аналогами, в виде стекло и углеволокна.

Одним из немаловажных факторов является химический состав биоволокна (табл.1). Компоненты, находящиеся в их составе, влияют на физико-механические свойства волокна. К таким веществам относятся: целлюлоза и пектин, которые играют роль в процессах разложения материала и регулировании его влагонасыщения, а также лигнин, обеспечивающий высокую термостойкость, но подверженный деградации под воздействием солнечного излучения [2].

Таблица 1 - Химический состав и структура растительных волокон

Компоненты	Хлоп ок	Лен	Древеси на	Джу т	Коно пля	Сизал ь	Кокосов ое волокно	Рам и	Паль ма
Целлюлоза, %	88-96	60-85	40-50	60-65	70-77	65-73	35-45	70-85	30-40
Пектин, %	—	2-3	0-1	0,2-0,5	2	1-2	3-4	1-2	5-8
Гемицеллюлоза, %	3-6	12-20	20-30	18-24	15-18	12-15	15-20	13-16	15-25
Лигнин, %	-	2-5	25-30	10-12	3-8	9-14	40-45	0,6-1,0	20-35
Воск, %	0,4-1	1,5-2	0,1	0,5-0,8	0,8-1,5	0,5-1	—	0,5-1,0	0,1-0,5
Угол подъема спирали фибрилл в натуральном волокне	—	10,0 - 12,0	5,0-30,0	8,0-10,0	6,0-8,0	10,0-22,0	30-45	5-10	20-30
Влага, %	7-8	8-10	12-15	12-14	9-13	10-14	10-12	7-10	10-15

Свойства и структура растительных волокон нестабильна и зависит от ряда факторов, таких как вид растения, расположение волокна в стебле, возраст, методы обработки, степень влажности и другие условия.

К ключевым характеристикам механических свойств волокон в значительной степени можно отнести содержание целлюлозы (природный полимер), ведь от нее зависит число мономерных звеньев в молекуле полимера и угол аксиальной ориентации кристаллографических осей микрофибрилл. Большое содержание целлюлозы способствует повышению уровня полимеризации и положительно влияет на прочность материала, а также на его упругие свойства. Из-за природной нестабильности сырья по данным исследования (табл. 2), можно заметить большие отклонения значений, указывающих на физико-механические свойства биоволокна [3-7].

Таблица 2 - Физико-механические свойства растительных волокон в сравнении с синтетическими волокнами

Волокна	Предел прочности при разрыве, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Плотность, г/см ³	Удельная прочность, г/текс (г/1000 м)
Е-стекло	2000–3500	70–80	2,54-2,60	760-1350
Углеродное волокно	3500-6000	230-600	1,75-2,0	1750-3000
Лен	400-800	60-80	1,4-1,5	270-530
Сизаль	400-700	9–20	1,45	270-480
Джут	250-350	20–55	1,45-1,50	170-240
Конопля	500-900	30–70	1,48-1,50	340-600
Банановое волокно	430-760	12-29	1,35-1,50	280-510
Кокосовое волокно	120-200	4–6	1,15-1,30	90-150
Хлопок	350-600	8-12	1,50-1,55	230-400
Шелк	500-600	6-12	1,34-1,36	360-440
Шерсть	120-250	2-8	1,30-1,34	90-180
Древесина	50-150	10-20	0,40-0,90	125-375

Сравнительный анализ свойств композиционных материалов

Физико-механические свойства полимерных композитов, в которых в качестве армирующих наполнителей используются натуральные волокна зависят от следующих факторов. Среди них ключевое значение имеют свойства самих армирующих волокон, тип связующего материала, а также степень адгезии на контактной границе между матрицей и волокном. В работе представлены данные, отражающие различия в физико-механических свойствах полимерных композитов с однонаправленно ориентированными волокнами и тех, где волокна расположены в хаотичном порядке (табл. 3) [7].

Анализ сырьевой базы на территории России характеризуется потенциалом в использовании природных ресурсов, хоть и существуют некоторые препятствия связанные с развитием инфраструктуры и технологическим оснащением.

По данным из отчетов государственных органов за 2024 год в России произведено порядка 79659,9 тонн льняного волокна которое отлично подходит для использования в качестве наполнителя для создания биокompозитов благодаря легкости и прочности.

Также стоит отметить что легализация промышленного выращивания технической конопли открывает перспективы использования ее волокон для производства биокompозитов, так как обладает уникальными прочностными свойствами. За прошедший год было выращено и переработано порядка 21145,5 тонн технической конопли, также стоит отметить большое количество отходов материалов деревообрабатывающей промышленности (опилки, щепа, стружки) которые хорошо подходят для производства биокompозитов.

Таблица 3 - Сравнение физико-механических свойств биокompозитов с различной ориентацией волокон

Волокно (содержание, % (по массе))	Предел прочности при разрыве, (МПа)	Модуль упругости при растяжении, (ГПа)	Предел прочности при изгибе, (МПа)	Модуль упругости при изгибе, (ГПа)	Ударная вязкость, (кДж/м ²)
Однонаправленные волокна					
Древесина (40)	160	15	220	30	30
Сизаль (40)	129	8,5	192	7,5	98
Банановое волокно (30)	121	8,0	–	–	52
Кокосовое волокно (30)	45	4	56	4	44
Беспорядочно ориентированные волокна					
Древесина (30)	100	10	120	15	50
Сизаль (25)	34,5	1,9	86,4	–	30
Банановое волокно (25)	43,5	2,3	92	–	10
Кокосовое волокно (25)	14,0	1,4	31,2	–	11

Применение биокompозитов. По данным исследований зарубежных аналитиков, патентной информации и научных статей можно сделать вывод, что биокompозиты имеют положительные тенденции и находят свое применения в различных областях промышленности. Основными драйверами является автомобильная промышленность, строительная отрасль, судостроение, медицина, производство спортивного оборудования, а также биокompозиты нашли свое применение и в аэрокосмической отрасли.

По данным аналитиков рынок биокomпозитов является стремительно развивающимся и имеет большой потенциал роста. Исследуя различные отчеты и аналитику по рынку материалов можно прогнозировать примерный среднегодовой рост в 24,3%. За 2024 год было произведено около 1,86 миллионе тон биокomпозитов. Эти данные позволяют рассчитать примерный объем производства биокomпозитов на следующие 10 лет, что примерно равняется 5,53 миллионaм тонн в год (рис.).

По объему производства изделий из полимерных композитов с содержанием натурального волокна можно выделить две основные отрасли, автомобилестроение и строительство. Из биокomпозитов в автомобилестроении производят различные обшивки, каркасы не несущих конструкций по типу сидений и подлокотников, а также различных отсеков хранения и полки. В строительной отрасли биокomпозиты применяются для производства утеплителей, напольных покрытий, фасадных материалов и кровли, и различных декоративных панелей.

Таким образом, биокomпозиты находят применение практически во всех отраслях, где важны экологическая устойчивость, легкость, прочность и долговечность материалов.

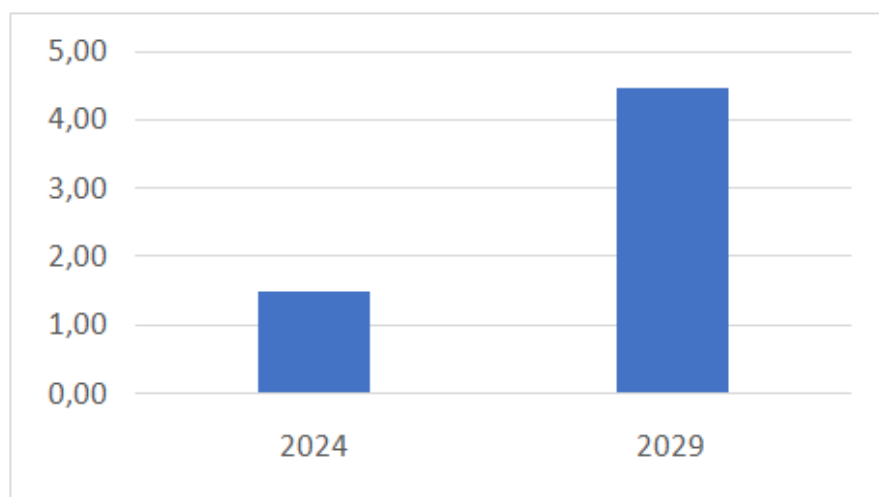


Рисунок – Динамика роста объемов производства биокomпозитов

Их использование способствует развитию "зеленой" экономики и снижению экологической нагрузки.

К преимуществам биокomпозитов в сравнении с аналогами из синтетических волокон можно отнести: экологичность и биоразлагаемость, легкость и низкая плотность, высокая механическая прочность, тепло- и звукоизоляционные свойства, снижение углеродного следа, использование возобновляемых ресурсов, безопасность для здоровья, более низкая стоимость, возможность переработки, эстетическая привлекательность (натуральная текстура и цвет). Однако, не смотря на все преимущества, все же есть ряд серьезных проблем, затрудняющих внедрение биокomпозитов и полимерных композиционных материалов в промышленность России [8].

К таким проблемам можно отнести недостаточное внимание и поддержку со стороны государства в разработки и производства биокomпозитов. Многие частные организации

готовы заняться разработками в сфере производства биокompозитов, но их пугают риски, связанные с нестабильностью и новизной рынка, а также с непринятием со стороны потребителя. Также на пути развития данной сферы стоят технические и технологические проблемы. Они связаны с недостаточным уровнем развития технологий производства и переработки таких материалов. Так как для работы с биокompозитными материалами требуется специализированное оборудование, квалифицированные специалисты способные работать с полимерными композитами и биоматериалами.

Заключение. В контексте устойчивого развития технология производства биокompозитов может иметь огромные перспективы, поскольку они являются экологически чистыми материалами. При должном подходе к разработкам и осведомлению потребителя о преимуществах биокompозитов, данная отрасль может значительно расшириться. Также развитие в данной области поможет расширить сырьевую базу и увеличить количество рабочих мест. Что положительно повлияет экологическую и экономическую сферы.

Список литературы

1. Pandey J.K., Nagarajan V., Mohanty A.K., Misra M. Commercial potential and competitiveness of natural fiber composites // *Biocomposites: Design and Mechanical Performance*. Elsevier, 2015. P. 1–15.
2. Байклз Н., Сегал Л. Целлюлоза и ее производные. М.: Мир, 1974. Т. 1. 64 с.
3. Алеева С.В. Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Иваново: ИХР РАН, 2014. 3 с.
4. Furqan Ahmad, Heung Soap Choi, Myungkyun Park. Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2015. Vol. 300. P. 10–24.
5. Mei-po Ho, Hao Wang, Joong-Hee Lee et al. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites // *Composites. Part B*. 2012. Vol. 43. P. 3549–3562.
6. Holbery J., Simmons K., Nguyen N. et al. Reinforced Composite Material Research. North west National laboratory us department of Energy, 2007. URL: https://depts.washington.edu/amtas/events/amtas_08spring/PNNL.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
7. Chaudhary V., Gohil P.P., Shaikh A.A. Development of Potential Composites through Natural Fiber Reinforcement // *Journal of Scientific & Industrial Research*. 2015. Vol. 74. P. 93–97.
8. Дасковский М.И., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. Систематизация базисных факторов, препятствующих внедрению полимерных композиционных материалов в России (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2016. №5. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.02.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-5-6-6.

References

1. Pandey, J. K., Nagarajan, V., Mohanty, A. K., Misra, M. Commercial Potential and Competitiveness of Natural Fiber Composites. // *Biocomposites: Design and Mechanical Performance*. Elsevier, 2015. P. 1–15.

2. Bikales, N., Segal, L. Cellulose and Its Derivatives. Moscow: Mir, 1974. Vol. 1. 64 p.
3. Aleyeva, S. V. Methodological Foundations for Improving the Processes of Biochemical Modification of Flax Textile Materials: Author's Abstract of Doctoral Dissertation in Technical Sciences. Ivanovo: IHR RAS, 2014. 3 p.
4. Ahmad, F., Choi, H. S., Park, M. Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties. // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2015. Vol. 300. P. 10–24.
5. Ho, M.-P., Wang, H., Lee, J.-H., et al. Critical Factors on Manufacturing Processes of Natural Fibre Composites. // *Composites, Part B*. 2012. Vol. 43. P. 3549–3562.
6. Holbery, J., Simmons, K., Nguyen, N., et al. Reinforced Composite Material Research. Northwest National Laboratory, US Department of Energy, 2007. URL: https://depts.washington.edu/amtas/events/amtas_08spring/PNNL.pdf (accessed 10.02.2025).
7. Chaudhary, V., Gohil, P. P., Shaikh, A. A. Development of Potential Composites through Natural Fiber Reinforcement. // *Journal of Scientific & Industrial Research*. 2015. Vol. 74. P. 93–97.
8. Daskovsky, M. I., Doriomedov, M. S., Skripachev, S. Y. Systematization of Basic Factors Preventing the Introduction of Polymer Composite Materials in Russia (Review). // *Trudy VIAM: Electronic Scientific and Technical Journal*, 2016. №5. Article 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (accessed 10.02.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-5-6-6.