

**В.П. Шумляківський, к.т.н.  
М.М. Перегуда, аспірант**

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Потенціал використання композитних матеріалів із натурального волокна в автомобільній промисловості**

*Натуральні волокна все більше привертають до себе увагу завдяки своїй доступності, екологічності та здатності до біологічного розкладання. Вони набувають все більшої популярності порівняно з синтетичними волокнами. Композитні матеріали з натурального волокна демонструють відмінну міцність і жорсткість, високу стійкість до руйнування, а також чудові тепло- та звукоізоляційні якості. Ці властивості можуть принести значну користь для автомобільної промисловості та підвищення комфортності експлуатації автомобіля.*

*Виробники автомобілів та дослідники все частіше розглядають використання композитів, армованих натуральним волокном, для створення своєї продукції. Виробництво композитних матеріалів швидко розвивається і має перспективу замінити звичайні методи виготовлення деталей транспортних засобів, а рослинні волокна відіграють важливу роль у цьому. У сфері композиційних матеріалів існує тенденція зміни синтетичних волокон на натуральні. Це пов'язано з інтересом покупців до екологічно чистих товарів та прогресу в інноваціях, через що використання натуральних волокон стає невід'ємною частиною цього процесу. В основному використовуються такі волокна, як бамбук, кенаф, коноплі, джут, льон, койра, сизаль тощо.*

*Проаналізувавши праці провідних вчених у цій сфері, ми можемо знайти підтвердження сказаних вище слів. Ними був зроблений великий об'єм роботи та визначені галузі, де органічні волокна можуть показувати максимум користі. Наприклад, в автомобільній промисловості натуральні волокна поступово замінюють штучні, завдяки здатності до біологічного розкладання, екологічності, при цьому пропонуючи хорошу міцність, високу жорсткість, низьку щільність і низьку вартість порівняно зі штучними волокнами. Але незважаючи на те, що в природі є різноманітні рослинні волокна, лише деякі з них вважаються придатними для застосування в автомобілях, оскільки вони забезпечують властивості, наближені до синтетичних волокон. Все ж попри свої переваги та широкий спектр використання, композити з натуральних волокон мають ряд недоліків, які негативно впливають на експлуатаційні властивості автомобіля. Одними з основних проблем є гідрофільність, нерівномірна міцність волокон, погана вогнестійкість та довговічність.*

*Було проведено дослідження, в якому пропонується один зі способів практичного використання композитних матеріалів на основі натурального волокна, а також розглядаються його переваги та перспектива для автомобільної промисловості. Об'єктом досліджень була обрана підлога багажника як елемент, який потребує підвищення рівня міцності в деяких сучасних автомобілях. У процесі досліджень було виготовлено кілька зразків альтернативних матеріалів для виготовлення підлоги багажника та запропоновано оптимальний варіант, який має значно краще співвідношення ваги до міцності, ніж матеріал, який використовується на цей момент.*

**Ключові слова:** *автомобіль; автомобільна промисловість; композитні матеріали; натуральні волокна; підлога багажника; стільникова структура.*

**Актуальність теми.** Автовиробники та дослідники все частіше розглядають використання композитів, армованих натуральним волокном, для створення своєї продукції [1, с. 330]. Виробництво композитних матеріалів швидко розвивається і має перспективу замінити звичайні методи виготовлення деталей транспортних засобів, а рослинні волокна відіграють важливу роль у цьому. У сфері композиційних матеріалів існує тенденція зміни синтетичних волокон на натуральні, це пов'язано з інтересом покупців до екологічно чистих товарів та прогресу в інноваціях, через що використання натуральних волокон стає невід'ємною частиною цього процесу [2, с. 348]. Використовується широкий спектр волокон, таких як бамбук, кенаф, коноплі, джут, льон, койра, сизаль тощо.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження властивостей композитних матеріалів проводяться в іноземних університетах. Цій темі присвячені роботи Н. Sreenivas, N. Krishnamurthy, G. Agritha [1], де розглядаються розробки композитів на основі кенафу з урахуванням різних факторів, таких як послідовність укладання, об'ємне співвідношення волокон до матриці, кутова орієнтація волокон і хімічна модифікація поверхні волокон для посилення адгезії волокон до матриці, а також механічні властивості та різноманітне застосування гібридних композитів.

Afolabia L., Melor P., Yusoff M., Ariff Z., Hamizol M. [2] досліджують целюлозні волокна та способи їх покращення шляхом лужної обробки, що допомагає очистити целюлозні волокна від домішок та покращити механічні властивості.

Parka G., Park H. [5] працюють з композитними сендвіч-панелями зі скловолокна. В 2021 р. вони опублікували статтю з дослідження підлоги автомобіля з сендвіч-панелі, в якій довели, що підлога виготовлена з композитних матеріалів, є безпечною та стабільною для використання в автомобілі.

Інформація, отримана з даних джерел, доводить актуальність розглянути та оцінити можливі переваги використання натуральних композитних матеріалів у виготовленні сендвіч-панелі для підлоги багажника автомобіля.

**Метою статті** є дослідження використання композитних матеріалів з натуральних волокон в автомобільній промисловості та їх вплив на експлуатацію транспортних засобів.

**Викладення основного матеріалу.** Натуральні волокна поступово замінюють штучні, завдяки здатності до біологічного розкладання, екологічності, при цьому пропонуючи хорошу міцність, високу жорсткість, низьку щільність і низьку вартість порівняно зі штучними волокнами [3, с. 306]. Незважаючи на те, що в природі є різноманітні рослинні волокна, лише деякі з них вважаються придатними для застосування в автомобілях, оскільки вони забезпечують властивості, наближені до синтетичних волокон [4, с. 347]. Механічні властивості декількох натуральних волокон порівняно зі скловолокном наведено в таблиці 1 [5, с. 801].

Таблиця 1

Механічні властивості натуральних волокон і скловолокна

№ з/п	Тип волокна	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Міцність на розрив, МПа	Подовження (%)	Модуль пружності, ГПа
1	Кенаф	0,6–1,5	223–1191	1,6–4,3	11–60
2	Сизаль	1,3–1,5	400–700	1,4–2,1	9,0–55
3	Льон	1,3–1,6	340–1600	1,9–12	8,5–40
4	Конопля	1,1–1,6	285–1735	0,8–4	14,4–70
5	Банан	0,5–1,5	711–789	2,4–3,5	4–32,7
6	Джут	1,3–1,5	385–850	1,1–3,3	25–81
7	Бавовна	1,5–1,6	200–800	2,1–12	5,5–15,1
8	Бамбук	1,2–1,5	500–575	1,9–3,2	27–40
9	Койра	1,15–1,6	131–593	14–40	3–7
10	Рамі	1,4–1,55	200–1000	1,2–4	41–130
11	Цукрова тростина	1,1–1,6	170–350	6,3–7,9	5,1–6,2
12	Абака	1,50	430–815	1,2–1,5	31,1–33,6
13	Ананас	1,56	150–1627	2,40	11,0–82,0
14	E-Glass	2,5–2,55	2000–3500	0,5–3	70–73
15	S-Glass	2,50	4570,00	2,80	86,00
16	Карбон	1,4–1,78	3400–4800	1,4–1,8	230–425

Однією з важливих переваг натуральних волокон над синтетичними є краща тепло- та шумоізоляція. Такі властивості натуральних волокон видаються особливо доречними для виготовлення панелей та елементів салону, де впливають на комфортність експлуатації автомобіля. Так, з натуральних композитів виготовляють: спинки сидінь, підголівники, дверні панелі (рис. 1), підлогу багажного відділення (рис. 2) та інше.



Рис. 1. Процес виготовлення дверної панелі з конопляних волокон



Рис. 2. Підлога багажника KIA Sportage четвертого покоління (2015–2021 рр.)

Найбільш перспективними волокнами, які широко використовуються для виробництва, є льон, коноплі, бамбук та кенаф завдяки їх кращим механічним та екологічним властивостям.

Джанет Їн, інженер з розробки матеріалів Нанкінського науково-технічного центру Ford [6], прогнозує збільшення популярності бамбука як матеріалу для виготовлення елементів салону автомобіля. За її словами, бамбук демонструє набагато кращі показники, ніж інші перевірені синтетичні та натуральні волокна – від випробування міцності на розрив до випробувань на ударну міцність.

Інженери International Automotive Components Group (IAC) розробили каркас люка, який легший за традиційні альтернативи (рис. 3). «FiberFrame» замінює металевий підсилювальний каркас люка, використовуючи міцні натуральні волокна, які на 70 відсотків складаються з відновлюваних джерел, і водночас покращує структурну жорсткість каркаса.



*Рис. 3. Каркас люка «FiberFrame»*

Натуральні волокна на основі полімерів активно використовуються німецькими автовиробниками для виробництва різних компонентів, таких як дверні панелі, оббивка сидінь, задня полиця, демпфери тощо. У моделі Mercedes-Benz A-Class (2018) мат з натурального волокна разом із термореактивним сполучним агентом використовується в каркасі розсувного люка замість звичайного каркаса з листової сталі. Така заміна матеріалу економить ресурси та зменшує вагу деталі майже вдвічі.

Daimler Chrysler є провідним європейським виробником, який використовує композитні деталі з натурального волокна (рис. 4) у своїх автомобілях Mercedes-Benz [7, с. 4]. Для цієї моделі армовані джутовими волокнами композити використовуються для дверних панелей, льон для кришки двигуна та коробки передач, а інші волокна, такі як абака, конопля, сизаль і вовна, використовуються для панелей днища, внутрішніх частин стійок, підголовника, задньої вантажної полиці та теплоізоляції [8, с. 23].



*Рис. 4. Новий Mercedes-Benz A-Class і його деталі з натурального волокна*

У 2019 р. виробник спортивних автомобілів «Porsche» заявив, що спортивний гоночний 718 Cayman GT4 Club був першим у світі автомобілем, деталі екстер'єру якого зроблені з композитів, посилених натуральними волокнами коноплі та льону. Нещодавні дослідження пластику, армованого натуральними волокнами, розширили його потенційне застосування в автомобілях, приклади наведено в таблиці 2.

## Натуральні волокна в автомобілях

Натуральні волокна	Компоненти в автомобілі
Льон	Панелі дверей, панель приладів, підлокітники, сидіння
Конопля	Панелі дверей, панелі спинок сидінь, панель приладів
Кенаф	Захисні накладки, панелі дверей
Абака	Панель кузова, панель підлоги
Джут	Панелі дверей, панель приладів
Койра	Чохли на сидіння, матраци на сидіння, килимки
Бавовна	Утеплювач, шумоізоляція, панель багажника
Шерсть	Оббивка, чохли на задні сидіння
Деревина	Спінені панелі приладів, панелі спинок сидінь, волокно в подушках спинок сидінь

Також біокомпозити використовуються в автомобілях «BMW» Е-класу та 7-ї серії у внутрішніх компонентах, враховуючи панель приладів. У моделі Audi A2 дверні панелі виготовлені із суміші волокон сизалю / льону та поліуретану. Toyota прагне стати брендом номер один, використовуючи доступні та екологічно чисті продукти, такі як 100-відсотковий біопластик [9, с. 109]. Команда з Університету Кіото продемонструвала видатний і спортивний наноцелюлозний автомобіль (NCV), виготовлений з деревного волокна на 46-му автосалоні в 2019 р. [10, с. 7].

Попри свої переваги та широкий спектр використання, композити з натуральних волокон мають ряд недоліків, які негативно впливають на експлуатаційні властивості автомобіля. Одними з основних проблем є гідрофільність, нерівномірна міцність волокон, погана вогнестійкість та довговічність. Гідрофільність викликає деградацію волокон через вплив на них опадів, яких не уникнути під час експлуатації автомобіля, через це композити з натуральних волокон в основному використовуються для інтер'єру. Неоднорідна структура волокон погіршує їх міцність, механічні властивості можуть відрізнятися на різних ділянках вздовж одного ровінгу, саме з цієї причини натуральні волокна обмежено використовуються в аерокосмічній промисловості. Також на міцність може впливати місце та умови, де були вирощені рослини, тому властивості тяжче прогнозувати, оскільки вони можуть бути різними в різних партіях. Через легкозаймистість та погану вогнестійкість виникають проблеми з безпекою транспортних засобів. Щоб уникнути цих недоліків та підвищити ефективність використання, натуральне волокно потребує додаткової хімічної та механічної обробки.

Предметом дослідження була обрана підлога багажника, оскільки цей елемент має витримувати достатньо значні навантаження під час експлуатації. Підлога багажника зазвичай складається з килима і жорсткої основи. Для виготовлення основи широко використовується ДВП, таке виконання можна зустріти в автомобілях марки «Skoda» в моделях Fabia, Octavia, Kodiak, Karoq. Через свою недостатню міцність ДВП часто ламається (рис. 5), тож його можливо замінити на композити з натурального волокна або сендвіч-панель з композитів.



а – підлога багажника Skoda Karoq



б – підлога багажника Skoda Fabia

Рис. 5. Пошкодження підлоги багажника в автомобілі

Для порівняння властивостей, способом ручної ламінації та вакуумування, були виготовлені зразки (табл. 3) з конопляних волокон та стільникові панелі (рис. 6). Зразки були протестовані на згин, та була визначена їхня межа міцності.

## Параметри зразків для тестування

Назва матеріалу	Ширина x довжина, мм	Товщина, мм	Маса, кг
ДВП	100 x 100	3	0,038
Мат з конопляних волокон		2,5	0,019
Стільникова панель, посилена скловолокном		7	0,02
Стільникова панель, посилена матом з конопляних волокон		12	0,058



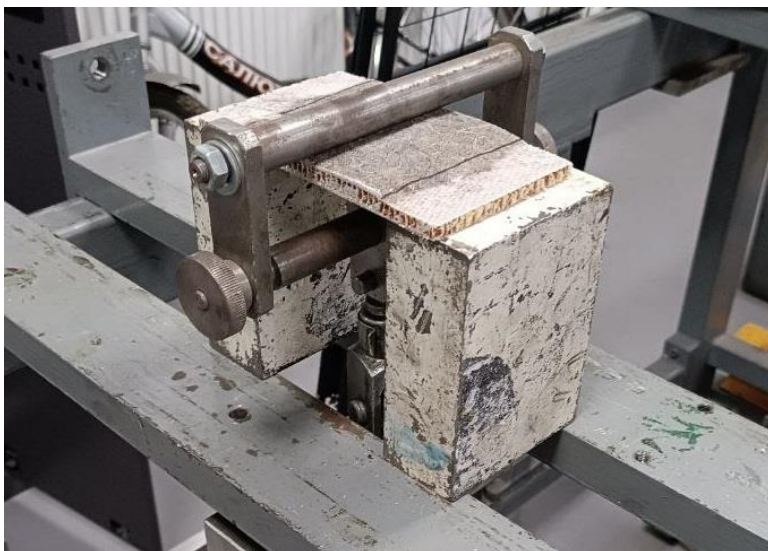
а – конопляні волокна

б – стільникова панель, посилена скловолокном

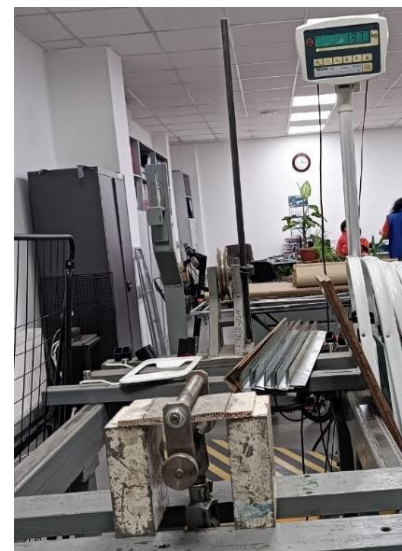
в – стільникова панель, посилена конопляними волокнами

Рис. 6. Зразки, виготовлені з конопляних волокон, стільникової панелі, посиленої скловолокном, стільникової панелі, посиленої матом з конопляних волокон

Процес тестування полягав у прикладанні навантаження в центрі зразка по всій його ширині за допомогою двох опор і оправки (треточкова схема) (рис. 7).



а – процес прикладення навантаження на зразок



б – загальний вигляд стенду

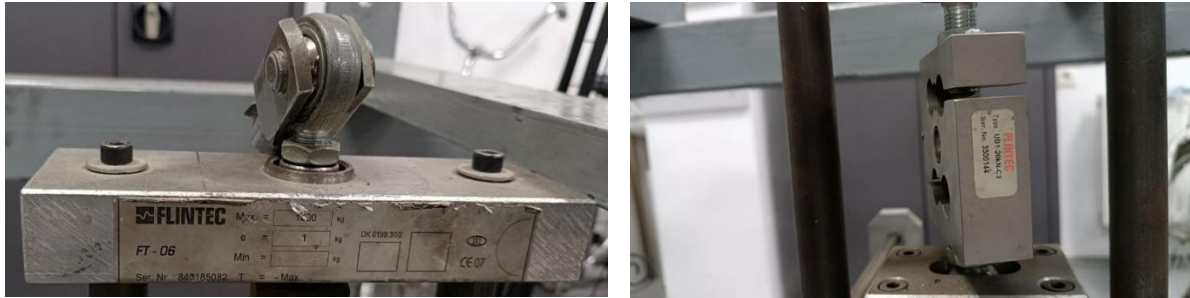
Рис. 7. Процес тестування зразків

Для виготовлення зразків використовувалися:

- епоксидна смола Eposid VP695;
- мат з конопляних волокон – 495 г/м<sup>2</sup>;
- скловолокно – 390 г/м<sup>2</sup>;
- арамідний папір «Nomex honeycomb» – 48 кг/м<sup>3</sup>.

Щоб покращити адгезію, на арамідний папір було нанесено суміш епоксидної смоли з наповнювачем МВ2. Вакуум під час виготовлення – 90 кПа.

Для тестування використовувався стенд ЕГ.8020-0011 з ваговим індикатором Flintec FT-06, повіреним службою стандартизації, метрології та сертифікації (рис. 8).



а – поворотний механізм стенда

б – тензодатчик Flintec

Рис. 8. Ваговий індикатор Flintec FT-06

Під час тестування було виявлено, що мат з конопляних волокон дуже гнучкий, оскільки його волокна короткі і різнонаправлені, що дозволяє йому поглинати навантаження шляхом деформації.

Загальні результати тестування механічних властивостей наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати тестування механічних властивостей

Матеріал та структура зразка	Навантаження, Н	Вигин, мм	Межа міцності на згин, МПа
ДВП	50	3	0,31
	100	6	
Мат з конопляних волокон	50	14,5	0,16
	70	32	
Стільникова панель, посилена скловолокном	200	0,8	1,14
	500	1,8	
Стільникова панель, посилена матом з конопляних волокон	1500	1,5	5,81
	2000	2,3	
	2500	3	

За формулою (1) визначаємо межі міцності на згин композитних матеріалів:

$$F_B = F_C \frac{3F_T - F_C}{F_T + F_C}, \quad (1)$$

де  $F_B$  – межа міцності при вигині;

$F_C$  – межа міцності при стисненні;

$F_T$  – межа міцності при розтягуванні.

В таблиці 5 показано коефіцієнт, який відображає відношення міцності до маси для кожного зі зразків.

Коефіцієнт був порохований прямою залежністю, яку можна відобразити формулою:

$$k = \frac{F_B}{m}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт відношення міцності до маси;

$m$  – маса зразка;

$F_B$  – межа міцності при вигині.

Коефіцієнт відношення міцності на згин до маси

Зразок	Межа міцності на згин, МПа	Маса, кг	Коефіцієнт
ДВП	0,31	0,038	8,3
Мат з конопляних волокон	0,16	0,019	8,5
Стільникова панель, посилена скловолокном	1,14	0,02	56,9
Стільникова панель, посилена матом з конопляних волокон	5,81	0,058	100,7

Отримані дані показують, що стільникова панель, посилена матом з конопляних волокон, є найкращим матеріалом для виготовлення основи підлоги, вона в 18,5 раза міцніша, при цьому лише в 1,52 раза важча ніж ДВП. Отже, для виготовлення бажаної панелі можливо використовувати мат з конопляних волокон зі значно меншою масою, ніж 495 г/м<sup>2</sup>. В такий спосіб отримаємо зменшення загальної маси деталі до таких показників, щоб вона не перевищувала або була меншою ніж вага оригінальної підлоги багажника з ДВП.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Використання натуральних волокон в автомобільній промисловості відповідає перспективним напрямкам сталого розвитку суспільства, зокрема, це пов'язано з вимогами Європейського Союзу щодо вторинної переробки складових автомобіля, де вказано, що переробляється має 85 % матеріалів. Значною перевагою використання натуральних волокон є простота їх виробництва та відповідне зменшення собівартості виробництва порівняно з синтетичними волокнами.

Проведені дослідження підтверджують доцільність використання натуральних волокон в автомобільній промисловості, насамперед через їх відносну міцність до маси та можливість комбінувати з іншими матеріалами та структурами. Комбінування забезпечує гнучкість у процесі розробки та виготовлення деталей автомобіля, дозволяє дослідним шляхом визначити оптимальний композитний матеріал з натуральних волокон. У випадку з підлогою багажника значний запас міцності при вигині стільникової панелі, посиленої матом з конопляних волокон, дозволяє зменшити масу деталі відносно оригінальної та забезпечити кращі експлуатаційні властивості виробу.

#### References:

1. Sreenivas, H., Krishnamurthy, N. and Arpitha, G. (2020), *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, Vol. 3, pp. 328–337.
2. Subramanian, S., Rajkumar, R. and Ramkumar, T. (2021), *Journal of Natural Fibers*, Vol. 18, pp. 343–354.
3. Afolabia, L., Melor, P., Yusoff, M. et al. (2019), *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 8, pp. 302–313.
4. Al-Oqla, F.M. and Sapuan, S.M. (2014), *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, pp. 347–354.
5. Parka, G. and Park, H. (2018), *Composite Structures*, No. 184, pp. 800–806.
6. «Natural Fibers May Hold the Key to Lightweighting», (2017), [Online], available at: <https://www.assemblymag.com/articles/94029-natural-fibers-may-hold-the-key-to-lightweighting>
7. Barba, B., Madrid, J. and Penaloza P. (2020), *Journal of the Chilean Chemical Society*, Vol. 65, 41 p.
8. Daimler, G. (2018), *New Mercedes-Benz A-class, Environmental Certificate for the A-class*, 23 p., [Online], available at: <https://group.mercedes-benz.com/documents/sustainability/product/daimler-environmental-certificate-mb-a-class.pdf>
9. Li, M., Pu, Y., Thomas, V. et al. (2020), *Composites, Part B Engineering*, Vol. 200, pp. 108–254.
10. Sapuan, S.M. and Ilyas, R.A. (2020), «Biocomposite and Synthetic Composites for Automotive Applications», *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 7 p.

**Шумляківський Володимир Петрович** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-5418-4736>.

Наукові інтереси:

- експлуатація і ремонт засобів автомобільного транспорту;
- дослідження конструкцій і робочих процесів в автомобілі;
- інтелектуальні транспортні системи;
- транспортні дослідження.

E-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua.



**Переґуда Михайло Миколайович** – начальник цеху з виготовлення виробів з композитних матеріалів, «Євроголд Індестріз ЛТД».

<https://orcid.org/0009-0001-5016-783>.

Наукові інтереси:

- експлуатація засобів автомобільного транспорту;
- композитні матеріали.

E-mail: pereguda.mik@gmail.com.

**Shumliakivskiy V.P., Perehuda M.M.**

#### **The potential of use of composite materials from natural fibers in the automobile industry**

Natural fibers are attracting more and more attention due to their affordability, environmental friendliness and ability to biodegrade. They are gaining more and more popularity compared to synthetic fibers. Composite materials from natural fiber demonstrate excellent strength and stiffness, high resistance to destruction, as well as excellent heat and sound insulation qualities. These properties can bring significant benefits to the automotive industry and increase the comfort of car operation.

Automobile manufacturers and researchers are increasingly considering the use of natural fiber reinforced composites in their products. The production of composite materials is developing rapidly and has the prospect of replacing conventional methods of manufacturing vehicle parts, and natural fibers play an important role in this. In the field of composite materials, there is a trend of changing synthetic fibers to natural fibers, this is due to the interest of buyers in environmentally friendly products and progress in innovation, due to which the use of natural fibers becomes an integral part of this process. A wide range of fibers are used, such as: bamboo, kenaf, hemp, jute, flax, coir, sisal, etc.

Natural fibers are gradually replacing synthetic fibers due to their biodegradability, environmental friendliness, while offering good strength, high stiffness, low density and low cost compared to synthetic fibers. Although there are a variety of plant fibers in nature, only a few of them are considered suitable for automotive applications, as they provide properties close to synthetic fibers. Despite their advantages and a wide range of uses, composites from natural fibers have a number of disadvantages that negatively affect the operational properties of the car. Some of the main problems are hydrophilicity, uneven fiber strength, poor fire resistance and durability.

This article examines the practical use of composite materials based on natural fiber and considers their perspective in the automotive industry.

**Keywords:** vehicle; automotive industry; composite materials; natural fibers; trunk floor; honeycomb structure.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2023.