

І.А. Шльончак, доц., канд. техн. наук, **О.В. Батраченко**, проф., д-р. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: Igor_Shlionchak@ukr.net; avbatrachenko1980@gmail.com

Утилізація автомобільних шин в українській перспективі

В статті проаналізовано сучасний стан утилізації автомобільних шин в українській перспективі, враховуючи світовий досвід. Виконано аналіз методів переробки зношених автомобільних шин з урахуванням вітчизняних та закордонних досліджень. Показано світову проблему збору та утилізації зношених автомобільних шин. Наголошено, що останні є основним видом гумових відходів в світі. В статті встановлено, що найбільш поширені методи утилізації зношених автомобільних шин поділяються на фізичні та хімічні. Представлені переваги та недоліки основних методів переробки гумових відходів, зокрема автомобільних шин. Показано, що найбільш перспективними є технології, що дозволяють розділяти основні компоненти автомобільних шин: гуму, сталь, текстиль. Зроблено висновок про те, що методу або технології, яка б дозволяла проводити процес утилізації автомобільних шин при невисоких витратах та з мінімізацією шкідливого впливу на атмосферу, не існує.

зношені автомобільні шини, утилізація відходів, гумова крихта, проблема збору та утилізації відходів

Постановка проблеми. Насьогодні людство споживає більше ресурсів, ніж планета може відновити. Згідно з даними Global Footprint Network, щороку настає день, після якого Земля не встигає відновити те, що було спожито. Відтак, важливим завданням у контексті виснаження природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища є досягнення балансу між економічним зростанням і екологічною стійкістю. Це можливо завдяки переходу країн на принципи циркулярної економіки. У лінійній економічній моделі ресурси видобуваються, перетворюються на продукцію, а після використання перетворюються на відходи, які не мають подальшого застосування. Це призводить до ряду проблем: низька ефективність використання ресурсів, залежність економіки від первинної сировини, значні обсяги відходів, а також екологічна та соціальна напруга [1].

В усьому світі гостро стоїть проблема збору та утилізації використаних автомобільних шин. В зв'язку з динамічним ростом парку автомобілів в усіх розвинених країнах світу має місце постійне накопичення зношених шин. За даними Європейської асоціації з вторинної переробки шин (ETRA) у Європі щорічно виходять з експлуатації понад 2 млн. тон автомобільних шин. З цього об'єму лише 10% утилізуються шляхом подрібнення і 20% використовуються як паливо. Решта накопичується на звалищах. В Україні це питання стоїть ще гостріше, тому що відсоток утилізованих шин в нашій країні значно нижчий, ніж у Європі [1-2].

Однією з найважливіших проблем сьогодення є кваліфіковане використання полімерних та, зокрема, гумотехнічних відходів, які нагромаджуються на організованих та стихійних звалищах, що підвищує рівень екологічної небезпеки на прилеглих територіях у результаті потрапляння шкідливих речовин у довкілля [2].

Основним видом гумових відходів є зношені автомобільні шини – щороку у світі їх нагромаджується орієнтовно 10 млн т. У численних дослідженнях доведено, що неконтрольоване нагромадження шин на звалищах призводить до забруднення і деградації ґрунтів, зокрема і важкими металами [2-3].

В Україні річний приріст зношених шин становить 250–300 тис. т. Рівень утилізації шин у нашій країні, за різними оцінками, не перевищує 10 %, натомість у більшості розвинутих країн світу переробляють 70–90 % таких відходів [2-3].

Існує декілька методів утилізації відпрацьованих автошин це як фізичні так і хімічні методи. Найбільш перспективними є технології, що дозволяють розділяти основні компоненти автопокришок: гуму, сталь, текстиль [1].

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз методів утилізації шин в українській перспективі, враховуючи світовий досвід переробки автомобільних шин. При цьому береться до уваги раціональний варіант методу утилізації шин для України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема утилізації зношених автомобільних шин розглядається як вітчизняними науковцями, так і закордонними. Питання переробки гумових відходів постає в світі надзвичайно гостро, оскільки маса відпрацьованих шин з кожним роком збільшується.

В науковій роботі [1] автори представили результати розробки екологічно чистого, високоефективного методу і обладнання для утилізації зношених автомобільних шин. В роботі показано метод утилізації шин на базі гідроабразивної деструкції гуми. Принцип дії обладнання базується на використанні ефекту силової дії струменя води високого тиску, який поєднується з роботою різання, що виконують абразивні частки, які рухаються в потоці. Приведено також розробку комплексу обладнання для очищення та регенерації забрудненої води з метою її повторного використання для водопостачання обладнання рідинних струменевих технологій та іншого виробничого обладнання промислових підприємств.

Автори роботи [1] також обґрунтовують проблему утилізації шин, представляючи способи переробки зношених шин в провідних країнах світу (рис. 1). З представленої таблиці видно, що лідерами в переробці зношених автомобільних шин є Японія та Німеччина. Однак і в цих країнах більшість автошин утилізується методом спалювання, що не є ефективним в енергетичному сенсі. Дослідження показали, що на виробництво автомобільних шин витрачається енергії в 3-4 рази більше, ніж її можна отримати при спалюванні. Автори розділяють всі можливі варіанти переробки автомобільних зношених шин на дві основні групи: фізичні методи та хімічні (рис. 2).

Країна/ Регіон	Способи використання старих автопокришок (%)					
	Спалю- вання	Пере- робка в сирю- вину	Віднов- лення	Екс- порт	Вивіз на зва- лище	Інше
США	23	10		3	63	1
Японія	43	12	9	25	8	3
Німеччи- на	38	15	18	18	2	9
Великоб- ританія	9	6	18		67	
Європей- ський Союз	30		20		50	

Рисунок 1 – Способи переробки зношених шин в провідних країнах світу

Джерело: на підставі [1]

Одним із поширених фізичних методів переробки автомобільних шин є дробіння з подальшим спалюванням гуми. Відома провідна фірма США під назвою «Waste Management Inc» використовує установки для дробіння автомобільних шин з подальшим постачанням крихти, як паливо, на целюлозно-паперові комбінати та цементні заводи. Також гума крихта, як паливний матеріал, використовується у вигляді 10% добавки при спалюванні вугілля. Цією ж фірмою проводиться експеримент по спалюванню гуми крупного дроблення (до 25 мм) в циклонних топках енергетичних казанів. Частка гуми складає 2-3% від маси вугільного палива. Складність процесу дроблення зношених шин (особливо з металокордом) стимулювала розвиток технології спалювання шин в цільному вигляді [1-2].

В Англії фірма "Avon Rubber" експлуатує печі для спалювання шин в цільному вигляді з 1973 р., тобто має вже майже 45-річний досвід в цій області. В країні розглядається питання будівництва електростанцій потужністю 20-30 МВт для спалювання 12 млн. шин в рік масою 90 тис. тон. В країнах колишнього СРСР за такою технологією працюють лише в Казахстані [1, 4]. Однак, головним недоліком спалювання зношених автомобільних шин є той факт, що при спалюванні зношених шин, як і при спалюванні нафти, знищуються хімічно цінні речовини, що містяться в матеріалі таких шин. Енергетичний баланс спалювання зношених шин не вигідний, якщо порівнювати витрати енергії на виробництво шин. Також у порівнянні з іншими методами переробки, оскільки використовується тільки енергетичний ресурс шини, а цінний матеріал при цьому знищується.

Автори роботи [2] відносять до термічних методів переробки шин газифікацію та піроліз. Зазначається, що процес газифікації відбувається за температури 800–1200°C. При цьому утворюється велика кількість газоподібних продуктів, які можна використовувати як паливний газ, або як синтез-газ. А твердий залишок – пірокарбон. Процес піролізу зношених шин та інших гумових відходів ведуть на установках періодичної дії за температури 450–500 °C. Під час цього утворюється рідкий продукт – піроконденсат, газ піролізу та твердий залишок – пірокарбон. Піроконденсат піролізу здебільшого використовують як паливо. Такий спосіб використання є економічно не вигідним, враховуючи порівняно низьку вартість цього виду палива [5-7]. Автори роботи [2] пропонують визначити склад та властивості піроконденсату піролізу зношених автомобільних шин та вузьких фракцій, виділених з нього, з метою встановлення найраціональніших способів їхнього використання в Україні. Для проведення досліджень використовували піроконденсат, отриманий у промислових умовах на технологічній установці низькотемпературного піролізу ТОВ «Еко Пром Груп» (с. Гранки-Кути Миколаївського р-ну Львівської обл.).

Авторами досліджень [2] встановлено, що у піроконденсаті та його фракціях практично не міститься важких металів, характерних для нафтових фракцій та залишків (V, Ni). Натомість виявлено Ca, Fe, Zn. Причому Fe і Zn концентруються переважно у залишку від перегонки піроконденсату, а Ca – у бензиновій фракції.

Автори роботи [8] зазначають, що найбільшого поширення в сфері рециклінгу зношених автомобільних шин набула технологія їх подрібнення у високоеластичному стані при помірних швидкостях, не дивлячись на значно вищі витрати енергії в порівнянні з криогенною технологією. За цією технологією перероблення покришок ведеться в наступній послідовності: миття – вирізка бортів – попереднє дроблення – грубе дроблення – дрібне дроблення – видова сепарація – подрібнення до крихти. Традиційним обладнанням, що застосовується для дроблення гумових відходів, зазначають автори, є вальці. Як правило застосовують дискові та роторні подрібнювачі. Однак схема, заснована на застосуванні вальців, є більш продуктивною й менш

енергоємною. Однак, світова практика утилізації шин використовує криогенне подрібнення зношених шин – метод, який має свої переваги перед іншими методами переробки автомобільних шин. Автори детально обґрунтовують механізми, які застосовуються під час переробки шин криогенним подрібненням. Крім цього автори роботи обґрунтовують подальше використання гумової крихти у складі асфальтобетонних дорожніх покриттів. Завдяки підвищеним фрикційним властивостям і кращому опору зносу такі покриття можуть бути ефективними на гірських дорогах, на площах і вулицях з інтенсивними транспортними потоками, на злітнопосадочних смугах аеродромів, на мостах і в тунелях. Зазначається досить широкий спектр використання крихти зношених автомобільних шин в різних сферах життєдіяльності людини.

Хімічні методи			Фізичні методи	
Піроліз	Спалювання	Крекінг		
Способи подрібнення вторинних гум				
За температурою подрібнення				
При від'ємних температурах			При додатних температурах	
За механічною дією				
Ударом	Стиранням	Стисненням	Стисненням із зрушенням	Різанням

Рисунок 2 – Методи переробки автомобільних шин

Джерело: на підставі [1]

Автор дослідження [9] представляє детальне обґрунтування ефективного використання зношених автомобільних шин в дорожньому будівництві. В роботі зазначаються суттєві переваги такої утилізації шин, а саме: екологічність та безвідходність, підвищення в'язкості (як наслідок зростає стійкість асфальтобетонного покриття до розтріскування) та зменшення шумів під час руху транспортних засобів на 3-6 дБ. Дослідники пропонують організаційну структуру збору та утилізації зношених автомобільних шин на Житомирщині (рис. 3). Пропонується раціонально розділити технологічний процес утилізації зношених автомобільних шин на дві частини: первинну та глибоку переробку. На первинну переробку зношені автомобільні шини звозять з пунктів їх прийому. Первинна переробка повинна включати очищення зношених автомобільних шин від бруду та негумових шипів, видалення бортових кілець та нарізання гуми шматками 200×200 мм на різальних валках. Після первинної переробки напівфабрикат (шматки гуми) транспортують до пункту глибокої переробки, технологічна схема якого включає грубе та тонке подрібнення на шредерах, видалення залишків металокорду магнітними сепараторами, видалення текстильного корду на вібростатах з використанням пневмопотуку та розділення гуми на різні класи крупності на вібростатах.

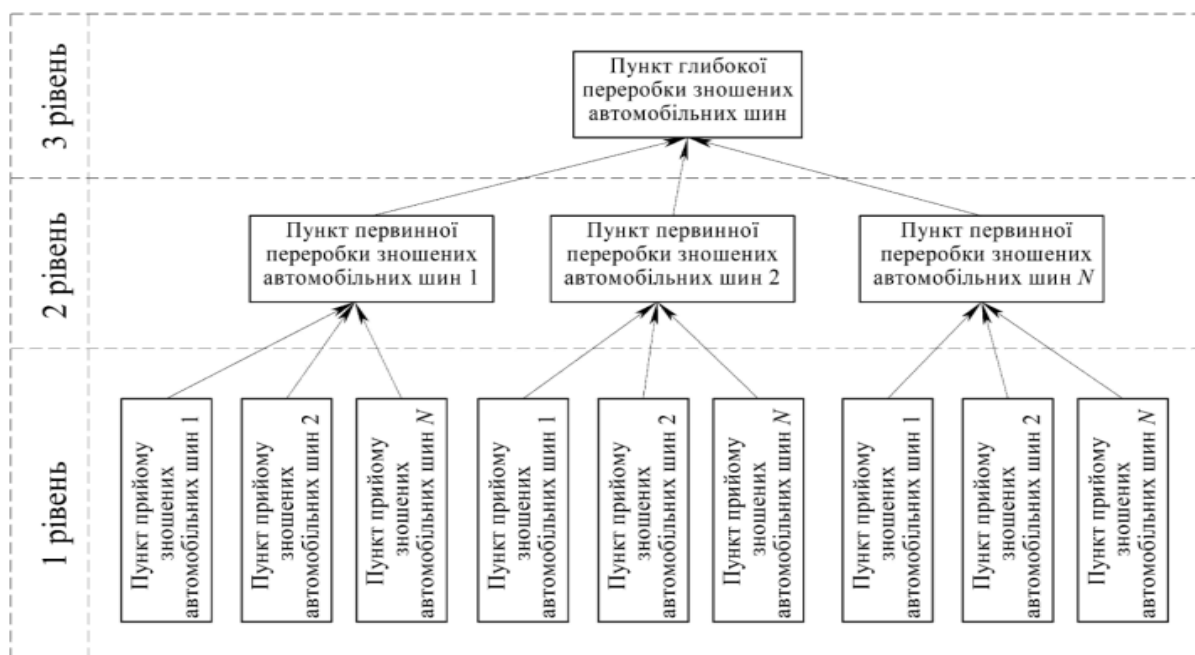


Рисунок 3 – Організаційна структура збору та утилізації зношених автомобільних шин у Житомирській області

Джерело: на підставі [9]

Автори роботи[10] зазначають, що не існує методу або технології, яка б дозволяла проводити процес утилізації при невисоких затратах і з мінімізацією шкідливого впливу на атмосферу. В статті повідомляється, що більшість методів утилізації відпрацьованих автомобільних шин передбачає використання гумової крихти, але при переробці шин із металокордом проблема одержання гумової крихти не вирішена. Технології криогенного здрібнення дороги, вимагають складного обладнання і значної кількості азоту. Тому при відносно невеликих обсягах – нерентабельні. З точки зору авторів, перспективним методом утилізації шин із металокордом є метод низькотемпературного піролізу, який не вимагає тонкого здрібнювання сировини. Таке виробництво, як зазначають дослідники, характеризується невеликим навантаженням на довкілля, в той же час найбільш повно вирішується проблема використання відпрацьованого матеріалу.

Висновки. Підсумовуючи вище зазначене, можна зробити декілька основних висновків. По-перше, найбільш поширені методи утилізації зношених автомобільних шин поділяються на фізичні та хімічні. По-друге, найбільш перспективними є технології, що дозволяють розділяти основні компоненти автомобільних шин: гуму, сталь, текстиль. По-третє, можна вважати, що методу або технології, яка б дозволяла проводити процес утилізації автомобільних шин при невисоких витратах та з мінімізацією шкідливого впливу на атмосферу, не існує.

Список літератури

1. Утилізація автошин методом гідроабразивної деструкції гуми. Монографія / А. О. Белятинський, В. М. Бадах, Ю.С. Головка, В. М. Першаков. Під заг. ред. д.т.н., проф. В. М. Першакова. К. ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2018. 148 с.
2. Склад і властивості пірокондисату піролізу зношених автомобільних шин / К. О. Гринишин, В. Й. Скорохода, Т. І. Червінський. *Національний університет "Львівська політехніка"* Вип.4, №2. 2021.С. 28-32.
3. Horner J. M. (1999). Environmental Health Implications of Heavy Metals Pollution From Car Tyres. *Rev.*

- Environ. Health Journal*. 11(4). P. 175–178.
4. Утилізація гумових відходів методом низькотемпературного піролізу/ Гринишин К.О., Скорохода В.Й. *X Ювілейна Міжнародна науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія та сучасні технології» / тези доповідей, 23-24 листопада. У 6-и томах. Т. II. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ. 2021. 170 с.*
 5. Volfson S. I., Fafurina E. A., Fafurin A. V. (2011). Metody utilizacii shyn i rezinotekhnicheskikh izdelij. *Vestnyk Kazanskogo Tehnologicheskogo universiteta*. P. 74–79.
 6. Gunich S. V., Janchukovskaja E. V. (2016). Analiz processov piroliza othodov proizvodstva i potreblenija. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotekhnologija*. 16(1). P. 86–93.
 7. Ryzhkov S., Rudyuk N., Markina L. (2016). Research of thermal conductivity of the condensed mass of the whole waste tires and determination of their optimum arrangement in the pyrolysis reactor. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*. 82 (4/5). P.12–18.
 8. Бойченко С. В., Іванченко О. В., Лейда Казимір, Фролов В. Ф., Яковлева А. В. (за редакцією професора С. В. Бойченка). *Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту: навчальний посібник. К. НАУ. 2019. 266 с.*
 9. Нагурський А.О. Використання каучуків та гуми для модифікування дорожніх бітумів / Нагурський А.О., Гринишин О.Б. Хлібишин Ю.Я.// *Львівські хімічні читання 2015: XV наук. конф., 24-27 травня 2015р. тези доп. Львів, 2015. Т10.*
 10. Пляцук Л.Д. Утилізація гумових відходів / Л.Д. Пляцук, Л.П. Гурець, О.П. Будьонний // *Екологічна безпека, Вісник КДПУ імені М.Остроградського. Випуск 5 (46), 2007. С. 152-154*

References

1. Bieliatynskiy, A. O., Badakh, V. M., Holovko, Yu.S., & Pershakov, V. M. (2018) Utylizatsiia avtoshyn metodom hidroabrazynnoi destruktzii humy. Monohrafiia. Kyiv: TOV «NVF «Slavutych-Delfin», 148 p. [in Ukrainian].
2. Hrynyshyn, K. O., Skorokhoda, V. Y., & Chervinskyi, T. I. (2021) Sklad i vlastyvoli pirokondynsatu pirolizu znoshenykh avtomobilnykh shyn. *Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika", №4 (2)*. P. 28-32. [in Ukrainian].
3. Horner, J. M. (1999). Environmental Health Implications of Heavy Metals Pollution From Car Tyres. *Rev. Environ. Health Journal*. 11(4). P. 175–178.
4. Hrynyshyn K.O., & Skorokhoda V.I., (2021) Utylizatsiia humovykh vidkhodiv metodom nyzkotemperaturnoho pirolizu *X Yuvileina Mizhnarodna naukovopraktychna internet-konferentsiia zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh uchenykh «Khimiia ta suchasni tekhnologii», T. II. – Dnipro: DVNZ UDKhTU. 170 p.* [in Ukrainian].
5. Volfson S. I., Fafurina E. A., & Fafurin A. V. (2011). Metody utilizacii shyn i rezinotekhnicheskikh izdelij. *Vestnyk Kazanskogo Tehnologicheskogo universiteta.* P. 74–79.
6. Gunich, S. V., & Janchukovskaja, E. V. (2016). Analiz processov piroliza othodov proizvodstva i potreblenija. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotekhnologija*. 16(1). P. 86–93.
7. Ryzhkov S., Rudyuk N., & Markina L. (2016). Research of thermal conductivity of the condensed mass of the whole waste tires and determination of their optimum arrangement in the pyrolysis reactor. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, №82 (4/5). P. 12–18.
8. Boichenko, S. V., Ivanchenko, O. V., Leida, Kazymir, Frolov, V. F., & Yakovlieva, A. V. (2019) *Ekolohistyka, retsyklinh i utylizatsiia transportu: navchalnyi posibnyk. Kyiv: NAU. 266 p.* [in Ukrainian].
9. Nahurskyi, A.O. (2015) Vykorystannia kauchukiv ta humy dlia modyfikuvannia dorozhnikh bitumiv *Lvivski khimichni chytannia, XV nauk. konf., 24-27 travnia 2015r.: tezy dop.*Lviv. P. 10-15. [in Ukrainian].
10. Pliatsuk, L.D., Hurets, L.P., Budonnyi, O.P. (2007) Utylizatsiia humovykh vidkhodiv, *Ekolohichna bezpeka, Visnyk KDPU imeni M.Ostrohradskoho, №5 (46)*. P. 152-154. [in Ukrainian].

Ihor Shlonchak, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Batrachenko**, Prof., DSc.

Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

The Recycling of Car Tires in the Ukrainian Perspective

The purpose of the work is to analyze the methods of recycling tires in the Ukrainian perspective, taking into account the world experience of recycling car tires. At the same time, a rational version of the tire recycling method for Ukraine is taken into account.

The article analyzes the current state of recycling car tires in the Ukrainian perspective, taking into account world experience. An analysis of the methods of recycling used car tires was carried out, taking into

account domestic and foreign research. The global problem of collection and disposal of used car tires is shown. It is emphasized that the latter are the main type of rubber waste in the world. The article found that the most common methods of disposal of worn car tires are divided into physical and chemical. The advantages and disadvantages of the main methods of processing rubber waste, in particular car tires, are presented.

Summarizing the research, several main conclusions can be drawn. First, the most common ways of disposing of used car tires are divided into physical and chemical. Secondly, the most promising are the technologies that allow separating the main components of car tires: rubber, steel, textiles. Third, it can be assumed that there is no method or technology that would allow the process of recycling car tires to be carried out with low costs and minimizing the harmful impact on the atmosphere.

worn car tires, waste recycling, rubber crumb, problem of waste collection and recycling

Одержано (Received) 15.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 19.10.2024

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.227-235](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.227-235)

О.Л. Ляшук, проф., д-р. техн. наук, **У.М. Плекан**, доц., канд. екон. наук, **О.П. Цьонь**, доц., канд. техн. наук, **Ю.Я. Вовк**, доц., канд. техн. наук, **Н.Я. Рожко**, проф., д-р. екон. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна.

e-mail: kaf_am@ukr.net

Аналіз впливу осьових навантажень на стан автомобільних доріг

У статті розглянуто основні аспекти аналізу впливу осьових навантажень на автомобільні дороги, що включають їхній вплив на довговічність дорожнього покриття та ризик пошкоджень. Окреслено проблему перевищення дозволених навантажень, що призводить до перевантаження на дорогах, та наведено чинні обмеження на максимальну вагу і розподіл навантаження на окремі осі автомобілів. Акцентовано на необхідності розвитку системи незалежного моніторингу якості дорожнього покриття як ключового елемента для підвищення безпеки дорожнього руху та покращення якості дорожньої інфраструктури. Запропоновано перспективні заходи щодо впровадження автоматизованих систем зважування в русі для оперативного контролю та управління навантаженнями на дорогах, що сприятиме зниженню ризику аварійності та зносу покриття.

багатоколісні транспортні засоби, дорожнє покриття, осьове навантаження, вантажні транспортні засоби, автомобільні дороги

Постановка проблеми. Більшість українських доріг була збудована в період 60–80-х років минулого століття, коли нормативне навантаження на вісь складало 6 тонн, що значно нижче сучасних вимог. За європейськими стандартами, дороги повинні витримувати навантаження в 11,5 тонн на вісь. Лише близько чверті доріг державного значення в Україні відповідають цим стандартам.

Перевантаження транспортних засобів, особливо великовантажних автомобілів, залишається поширеною проблемою і часто суттєво перевищує встановлені норми, що значно прискорює руйнування дорожнього покриття. Попри наявність законодавчих обмежень на масу транспортних засобів для доріг державного і місцевого значення, ці правила часто ігноруються, що призводить до швидкого зносу і пошкодження доріг.

© О.Л. Ляшук, У.М. Плекан, О.П. Цьонь, Ю.Я. Вовк, Н.Я. Рожко, 2024