

**П.Б. Прогній**, канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лоїк**, здобувач вищої освіти, **С.А. Мишко**, асп., **Ю.Б. Коваль**, асп., **М.О. Вітрук**, асп.

*Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна*

*e-mail: rozoom\_ruslan@ukr.net*

## До аналізу викидів від зносу автомобільних шин, як екологічної складової використання автомобільного транспорту

У роботі проведено дослідження негативного впливу на довкілля транспортних засобів, а саме викидів від зносу автомобільних шин. В результаті чого, в навколишнє середовище виділяється шинний пил, який осідає на дорогах, або ж потрапляє в повітря та переноситься на значні відстані. Проаналізовано дослідження європейських та американських вчених щодо зносу шин транспортних засобів в процесі їх руху та шкідливість даних викидів на здоров'я людини. Досліджено механізм зносу протектора автомобільних шин, визначено його види та встановлено фактори, які впливають на стирання протектора автомобільних шин. На основі аналізу наукових досліджень, визначено вплив встановлених факторів на зміну концентрації твердих частинок  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$  у викидах від стирання автомобільних шин. З'ясовано, що агресивна манера водіння сприяє значному зростанню (у 78 разів) концентрації твердих частинок у викидах при стиранні автомобільних шин. На підвищення рівня викидів впливає також збільшення навантаження на шини, зростання швидкості руху. Визначено, що для нових автомобільних шин характерне підвищення концентрації викидів твердих частинок, що пояснюється певним періодом їх припрацювання. Встановлено також зростання концентрації твердих частинок при використанні зимових шипованих шин у порівнянні із нешипованими та літніми. Запропоновано можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище. Серед яких: чітке дотримання індексу навантаження при виборі шин, дотримання швидкісних режимів руху, забезпечення відповідності матеріалів шин нормам щодо зносостійкості, врахування особливостей впливу матеріалів та граничних розмірів їх компонентів на знос автомобільних шин при проектуванні покриттів для нових автомобільних шляхів та модернізації існуючих.

**автомобільна шина, стирання протектора, викиди від зносу шин, тверді частинки  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$**

**Постановка проблеми.** У наш час автомобіль став невід'ємним атрибутом людства. Завдяки автомобільному транспорту ми можемо швидко та комфортно дістатися у необхідне місце або перевезти вантажі. Використання новітніх конструкційних матеріалів та комп'ютерних технологій у автомобілебудуванні забезпечує високий рівень комфорту та безпеки при керуванні транспортним засобом. Завдяки цьому, щорічно на дорогах збільшується кількість транспортних засобів.

Проте, не зважаючи на значну кількість переваг, у сучасних автомобілів є також ряд недоліків. Основним із них є негативний вплив на довкілля, зокрема значні викиди вуглекислого газу, важких металів та інших шкідливих речовин разом із відпрацьованими газами, що є продуктами згорання паливних сумішей у двигунах внутрішнього згорання. Для подолання даної проблеми на сьогодні розроблено нормативні документи та встановлено певні стандарти, які регулюють вміст шкідливих речовин у автомобільних вихлопах, а відповідно до їх вимог вдосконалюються характеристики двигунів внутрішнього згорання. Також ведуться розробки щодо створення гібридних автомобілів та електромобілів, що дозволяє зменшити рівень викидів вихлопних газів, або ж скоротити його до нуля.

Попри це, іншим важливим недоліком автомобіля є забруднення довкілля викидами від зносу шин. Відомо, що під час руху, під впливом різних факторів, відбувається стирання протектора шини. В результаті цього, в навколишнє середовище виділяється шинний пил, який осідає на дорогах, або ж потрапляє в повітря та переноситься на значні відстані. Донедавна ніхто не звертав особливої уваги на такі викиди. Але після досліджень, проведених європейськими та американськими вченими, які довели шкідливість даних викидів на здоров'я людини, інтерес до них зріс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі зносу автомобільних шин присвячено багато робіт. Проте, раніше дослідники в першу чергу розглядали економічний аспект зносу шин, як втрату їх ресурсу. Тому основні напрацювання були спрямовані на підвищення ресурсу шин для збільшення термінів їх експлуатації. Відповідно, більш детально досліджувалася проблема взаємодії коліс з опорною поверхнею для описання механізмів їх стирання, аналізу факторів та чинників, які впливають на даний процес, розроблялися методики щодо відновлення ресурсу шин для продовження термінів їх експлуатації [1-5]. Згодом дослідження почали включати екологічну складову. Вчені сконцентрували увагу над структурним аналізом викидів від зносу шин, дослідженням їх впливу на довкілля [6-12].

Зокрема, дані наведені у Звіті експертів Імперського коледжу в Лондоні [6], опублікованому в лютому 2023 року, показують, що викиди від зношення шин у містах можуть становити в 4 рази більший ризик для довкілля, ніж інші види мікропластику. Дослідниками встановлено, що з продуктами зношення шин викидається: близько 50% бенз(а)пірену, 100% N-нітрозамінів, 70% загального обсягу канцерогенів, 15% твердих речовин. Близько 60% частинок, що утворюються внаслідок зношення шин (шинний пил) настільки малі, що можуть глибоко проникати в легені людини. Залежно від розмірів фракції у складі шинного пилу виділяють тверді частинки  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ . Згідно із визначенням ВООЗ  $PM_{10}$  – пилові частинки з аеродинамічним діаметром 10 мкм та менше.  $PM_{2.5}$  – пилові частинки з аеродинамічним діаметром 2,5 мкм та менше [13]. Більш небезпечними для здоров'я людини є  $PM_{2.5}$ , тому що вони можуть досягати нижніх дихальних шляхів.

Досліджуючи проблему зносу автомобільних шин, вчені із Швеції та Фінляндії наводять такі показники річних викидів шинного пилу в навколишнє середовище для різних країн [7]: у Великобританії  $57 \cdot 10^6$  кг (1999 р), Німеччині  $60 \cdot 10^6$  кг (1998 р), Італії  $50 \cdot 10^6$  кг (2004 р), Швеції  $10 \cdot 10^6$  кг (2003 р), Данії  $7,3 \cdot 10^6$  кг (2002 р), США  $500 \cdot 10^6$  кг (2004 р). За інформацією дослідників значна кількість від загальних викидів відбувається у формі відносно великих частинок, які осідають на дорогах та поблизу них. Менше 5% від викидів переноситься у повітрі, та менше 1% виділяється у вигляді газоподібних викидів.

**Постановка завдання.** Актуальність та важливість даної проблеми обумовлює мету роботи, яка полягає в аналізі викидів від зносу автомобільних шин. Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити такі завдання:

- дослідження механізму зносу протектора шин для прогнозування його показників;
- виокремлення факторів, які впливають на збільшення рівня викидів від зносу шин;
- аналіз останніх досліджень, щодо викидів від зносу автомобільних шин, окреслення шляхів боротьби із даною проблемою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Автомобільна шина є важливим структурним елементом транспортного засобу, оскільки вона забезпечує зв'язок із дорожнім покриттям, передає зусилля та сприймає реакції опорної поверхні. Під час

Їзди шина поглинає певну кількість коливань, пом'якшуючи рух транспортного засобу, сприймає нормальні, тангенціальні та бокові навантаження. З огляду на це до автомобільної шини ставлять високі вимоги. Вона повинна володіти значним запасом стійкості проти стирання, деформацій і водночас залишатися достатньо еластичною, мати низький опір коченню та високий коефіцієнт зчеплення з дорогою. Для того, щоби надати шині потрібних властивостей, її виготовляють із суміші матеріалів, тому вона є композиційним виробом (рис. 1) [8]. Це пов'язано із тим, що не можливо підібрати такий однорідний матеріал, який би відповідав усім вимогам поставленим перед шиною.

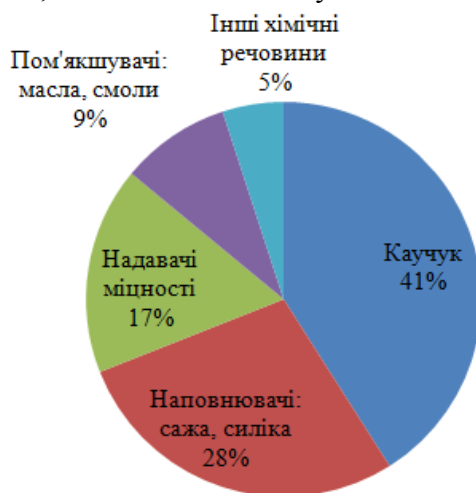


Рисунок 1 – Компоненти шини

Джерело: розроблено [8]

Всю сукупність вимог до сучасної шини об'єднують у три групи [1, 4, 5]:

1. Вимоги щодо безпеки руху. Шини повинні забезпечувати цілісність їх структурних елементів та стійкість курсу заданого водієм.

2. Економічність. Дана група вимог характеризується вартістю та довговічністю шин при великій несучій здатності колеса, високій транспортній швидкості та низькому опору коченню. Також сюди відносять ціну й ефективність засобів технічного огляду та ремонту шин.

3. Комфортність. Ця група включає вимоги щодо плавності руху без істотних поштовхів та коливань, маневреності й стійкості руху автомобіля.

Під величиною зносу протектора шини розуміють об'єм або вагу всієї гуми, знятої внаслідок взаємодії шини з опорною поверхнею. Знос шини відбувається внаслідок виконання нею роботи по подоланні сили тертя в умовах нормального кочення колеса. Під дією сили тертя в зоні контакту виділяється температура, яка для неметалевих предметів у верхніх шарах може сягати 500-700 °С. Дослідження зношеного протектора дозволяють виявити на його поверхні підвищений вміст сажі, що засвідчує можливість вигорання каучуку при нагріві гуми [1].

Проведений аналіз дозволив виділити три основні види зносу гуми [4, 5]:

- втомний,
- скачування,
- абразивний.

Автомобільна шина, яка працює в звичних умовах, найчастіше зазнає втомного зносу. При ньому руйнування поверхневого шару гуми відбувається внаслідок багаторазових деформацій протектора при контакті з поверхнею дороги. Характерним для даного виду зносу є те, що на поверхні бігової доріжки шини не утворюються видимі сліди стирання. Інтенсивність втомного зносу підвищується зі збільшенням

коефіцієнта тертя і модуля пружності та зменшується при збільшенні міцності та зносостійкості матеріалу. Значний вплив на даний вид зносу чинить навантаження на шину.

Знос скачуванням можна спостерігати в м'яких гумах, особливо при підвищенні температури та навантаження. Даний вид зносу характеризується появою тріщин та надривів, які утворюються через дію сил тертя, коли напруження зсуву перевищують механічні характеристики гуми, наприклад міцність. При цьому підвищується температура в зоні контакту колеса з дорогою, гума стає м'якшою, прилипає до поверхні дороги та скачується у валки. В результаті такого стирання, на поверхні дороги можна побачити сформований з цих валків рисунок, який складається із вершин та впадин, що чергуються між собою. Варто зазначити, що знос шин скачуванням може відбуватися лише при поєднанні відповідних умов зовнішнього середовища та властивостей гумової суміші.

Абразивний знос характерний для протектора з високою твердістю. Його в основному можна спостерігати на шинах, які працюють у важких умовах – на дорогах із кам'яним покриттям, при великих навантаженнях. Даний вид зносу протектора характеризується появою царапин, надрізів, надривів на біговій доріжці. Усі вони формують так званий рисунок зносу на поверхні тертя.

В реальних умовах руху неможливо спостерігати чітко один із видів зносу, всі вони комбінуються, тому знос протектора шин набуває змішаного характеру.

Наслідки від зносу протектора шин містять у собі економічну та екологічну складові. Економічна полягає у втраті шиною працездатності та необхідності її заміни, що призводить до додаткових фінансових витрат. Екологічна ж складова полягає у викидах в навколишнє середовище продуктів стирання шин, які негативно впливають на довкілля та здоров'я людей зокрема.

Саме з цих причин, зусилля багатьох науковців спрямовані на зменшення рівня стирання протектора шин. Дослідження механізмів зносу протектора шин дозволили з'ясувати фактори, які спричиняють підвищений знос автомобільних покришок. До таких факторів відносять: тиск в шинах, навантаження, дотичні сили, розвал і сходження коліс, конструкцію шин, радіус бігової доріжки, ширину профілю, рисунок протектора, кут розміщення ниток корда, ширину обода колеса, тип автомобіля, стиль водіння, тип і стан дороги, та ін.

Загалом усі фактори що впливають на знос протектора шин можна об'єднати у декілька груп [1, 3-5]:

1. Конструктивні особливості шини.
2. Умови експлуатації шин.
3. Технічний стан автомобіля.
4. Тип і стан дорожнього покриття.
5. Стиль водіння.
6. Вплив зовнішніх чинників.

Проаналізуємо роботи науковців, щодо дослідження зносу шин та впливу визначених факторів на його інтенсивність та зміну концентрації твердих частинок від зносу шин.

За результатами дослідження [4] встановлено, що знос шини зменшується при збільшенні щільності протектора. Тому шини із рисунком підвищеної прохідності на дорогах з асфальтобетонним покриттям стираються вдвічі швидше від шин із дорожнім рисунком протектора. Знос протектора знижує також використання широких ободів. Встановлено, що ободи висотою 80% від ширини профілю покришки дозволяють зменшити знос протектора на 22% у порівнянні зі зносом при використанні ободів висотою 65% від ширини профілю шини.

У роботі [9] автори описують дослідження викидів від зносу автомобільних шин, проведені у Швеції та Фінляндії із використанням двох різних систем для збору та аналізу викидів у ході дорожніх випробувань. Науковці порівнюють значення викидів для літніх, зимових нешипованих та зимових шипованих шин. За результатами дослідження встановлено, що найбільше викидів припадає на зимові шиповані шини, максимальна концентрація  $PM_{10}$  сягає значення  $2,7 \text{ мг/м}^3$ . Для зимових нешипованих шин, концентрація  $PM_{10}$  знижується у 3,4 рази ( $0,8 \text{ мг/м}^3$ ) і ще менший рівень викидів від зносу автомобільних шин зафіксовано для літніх шин ( $0,3 \text{ мг/м}^3$ ). Варто зауважити, що збільшення концентрації твердих частинок для шипованих шин може бути викликане підвищенням зносом дорожнього покриття через вплив шипів.

Подібні результати отримані авторами роботи [10]. Дослідження викидів від зносу автомобільних шин проведено в лабораторних умовах, із використанням спеціального обладнання VTI, яке імітувало рух колеса по дорозі. Експеримент із використанням дорожнього тренажера VTI дозволив з'ясувати, що викиди  $PM_{10}$  від шипованих шин у десять разів вищі ніж у нешипованих. У ході дослідження з'ясовано, що викиди твердих частинок від літніх шин незначні у порівнянні зі зимовими.

В дослідженнях [9, 10] автори повідомляють також про підвищення рівня викидів твердих частинок при зростанні швидкісних режимів руху. В роботі [9] зазначено, що при збільшенні швидкості з 50 до 80 км/год, відносна концентрація твердих частинок збільшилася на 30-170% залежно від типу шин і розмірів частинок. В роботі [10] відмічено зростання концентрації твердих частинок при збільшенні швидкості з 30 до 70 км/год. При чому більша концентрація викидів характерна для зимових шипованих шин, дещо менша для зимових нешипованих шин і найменший рівень зафіксовано в літніх шинах. На рисунку 2 наведено результати отримані у дослідженні [10].

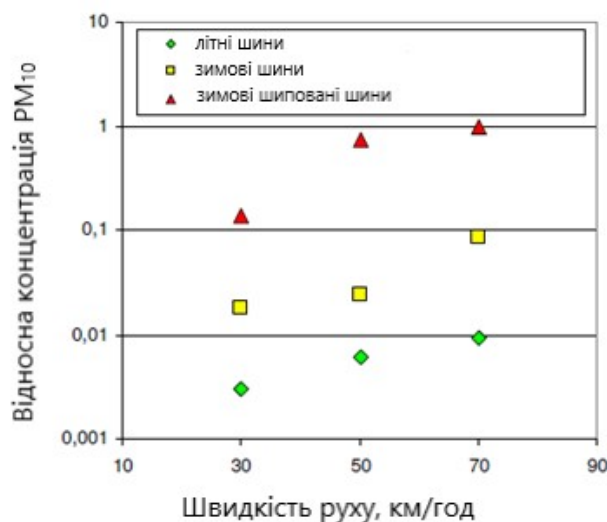


Рисунок 2 – Відносна концентрація  $PM_{10}$  в залежності від типу шини та швидкості руху  
Джерело: розроблено [10]

Група науковців із Emissions Analytics навела результати досліджень викидів від стирання автомобільних шин. Дані були представлені засновником, Ніком Молденом, на п'ятій сесії Цільової групи ЄЕК ООН присвяченій проблемі викидів від стирання шин 30 вересня 2022 року [11]. Науковці провели дослідження викидів при стиранні для 14 різних марок шин. Дослідження проводилися у два етапи. Спочатку в дорожніх умовах використовувалися нові шини, які тестували на спеціально обладнаному

автомобілі, що рухався із середньою динамікою по трасі із максимально дозволеною швидкістю, навантаження автомобіля було мінімальним. Згодом дослідження проводили для максимально навантаженого автомобіля, який рухався по трасі із максимально дозволеною швидкістю та швидким проходженням поворотів. Пізніше такі ж дослідження провели для цих же шин, які уже мали пробіг 4500 км. За результатами дослідження встановлено, що близько 11% від загальних викидів від зносу шин становлять частинки із розміром  $PM_{2,5}$ . Дослідники зауважують, що концентрація частинок зростає при збільшенні швидкості руху транспортного засобу, при агресивній манері водіння, а також зі збільшенням навантаження на шини. Зокрема, при спокійній манері водіння транспортного засобу, викиди від зносу нових шин склали 73 мг/км, а для користованих шин – 36,5 мг/км. Що свідчить про зменшення зносу шин після їх припрацювання. При агресивній манері водіння на максимально дозволених швидкостях, науковці зафіксували зростання концентрації твердих частинок більше ніж у 78 разів. Збільшення навантаження транспортного засобу на 500 кг спричинило зростання викидів від зносу шин на 10,5%.

Отримані дані, щодо зниження інтенсивності зносу нових шин після припрацювання співпадають із результатами дослідження [2]. Аналізуючи інтенсивність та характер зносу автомобільних шин, автори приходять до висновку, що з точки зору мінливості інтенсивності зношування, повний пробіг шини можна розділити на три етапи: зону припрацювання, зону усталеного (стабільного) зносу та зону критичного зносу. На основі дослідження встановлено, що в період припрацювання середня величина зносу шин склала 0,5036 мм/1000 км, а в період усталеного зносу зменшилася до 0,147 мм/1000 км.

У роботі [10] дослідники аналізують також вплив дорожнього покриття на зміну концентрації твердих частинок  $PM_{10}$  у викидах від зносу автомобільних шин. У процесі дослідження із використанням дослідної установки VTІ моделювався рух зимових шипованих шин із швидкістю 70 км/год впродовж однієї години по дорозі із асфальто-гранітним покриттям, фракція граніту розміром менше 16 мм; асфальто-кварцитним покриттям із фракцією кварциту менше 16 мм та менше 11 мм. Результати дослідження наведено на рисунку 3.

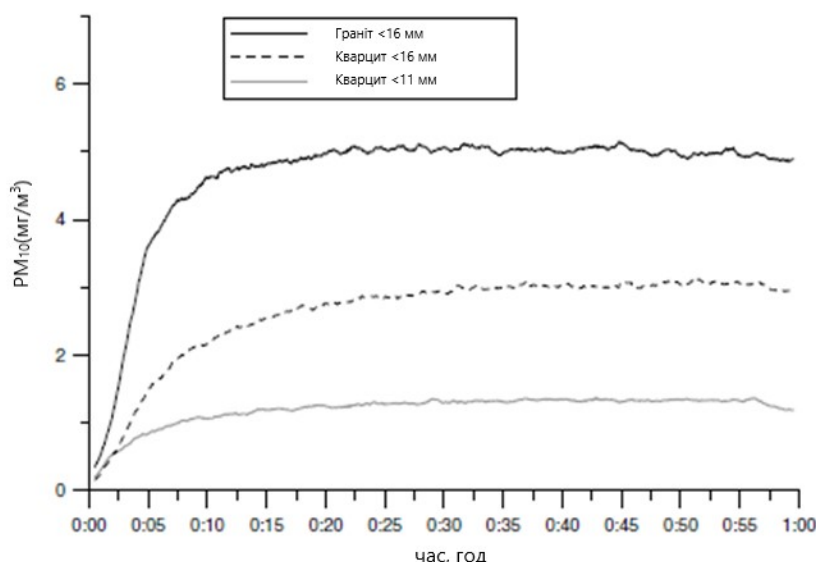


Рисунок 3 – Вимірювання концентрації  $PM_{10}$  при симуляції руху колеса по різних типах дорожнього покриття

Джерело: розроблено [10]

Як бачимо, із отриманих даних (рис 3.), при однаковій максимальній фракції компонентів, гранітне покриття створює концентрацію твердих частинок  $PM_{10}$  майже на 70% вищу, порівняно із кварцитним. У той же час, використання дрібнішої фракції наповнювача провокує меншу концентрацію твердих частинок. Як бачимо, зменшення фракції наповнювача дорожнього покриття на 30% викликає скорочення викидів від зносу шин приблизно на 65%. Отримані дані можуть бути корисними при розробленні заходів, щодо скорочення викидів твердих частинок від зносу шин у процесі проектування доріг. Адже результати дослідження показують, що правильний вибір матеріалів покриття та максимального розміру наповнювачів дозволяє скоротити до мінімуму рівень викидів твердих частинок.

Зважаючи на шкідливий вплив твердих частинок  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$  на довкілля та організм людини, виникає необхідність у ґрунтовних дослідженнях механізмів їх регулювання та регламентації. Зокрема, з цією метою урядом ЄС ухвалено директиву 2008/50/ЄС від 21 травня 2008 року «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи», у якій встановлено критерії щодо якості повітря та норми вмісту шкідливих речовин, серед яких граничні норми вмісту  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ . Проте, даний документ не регламентує концентрації твердих частинок, які утворюються при зносі автомобільних шин.

З огляду на це, науковці із Emissions Analytics, Імперського коледжу та інших наукових установ закликають запровадити механізми регламентації викидів твердих частинок від стирання автомобільних шин та врахувати їх вплив при розробці нових екологічних стандартів для транспортних засобів. Відповідно до цих рекомендацій, нові екологічні правила «Євро 7» з 2025 року повинні стати першими в світі стандартами викидів, які будуть встановлювати обмеження щодо викидів твердих частинок від зносу гальмівних накладок та зносу автомобільних шин. Варто зазначити, що ці стандарти впливатимуть також на електромобілі, адже для них характерні підвищені викиди від зносу автомобільних шин, що спричинено збільшеною масою через наявність важких акумуляторних батарей.

Таку ініціативу Європейської Комісії підтримали також в Європейській асоціації виробників шин та РТІ (ETRMA), де зазначили, що необхідно розробити надійну методику для вимірювання зносу шин. При цьому, надзвичайно важливо, щоб методика випробувань була розроблена до того, як будуть визначені ліміти зношування шин та затверджені відповідні стандарти. В ETRMA наголосили, що розроблена методика повинна окрім характеристик шин включати такі фактори, як параметри дорожнього покриття, погоду, стиль водіння та тип автомобілів, особливо, якщо йдеться про електромобілі [12].

На основі проведеного аналізу, окреслимо можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище:

- Проведення стандартизації способів вимірювання рівня зносу шин у навколишньому середовищі та їхньої токсичності.
- Забезпечення зменшення шкоди довкіллю та здоров'ю людей, шляхом посилення обмежень на використання шкідливих компонентів у матеріалах шин.
- Організація глобальних досліджень для більш детального вивчення короткострокового і довгострокового впливу твердих частинок різного розміру на довкілля та здоров'я людини.
- Більш ґрунтовні дослідження механізмів зношування шин для кращого розуміння його основ та закономірностей.

Розроблення стратегій та рекомендацій щодо зменшення рівня викидів від зношування шин. Наприклад, чітке дотримання індексу навантаження при виборі шин та врахування ваги транспортного засобу; дотримання швидкісних режимів руху та використання передових методів водіння; забезпечення відповідності матеріалів шин нормам щодо зносостійкості; врахування особливостей впливу матеріалів та граничних розмірів їх компонентів на знос автомобільних шин при проектуванні покриттів для нових автомобільних шляхів та модернізації існуючих.

**Висновки.** На основі проведеного дослідження проаналізовано механізм зносу протектора автомобільних шин, визначено види зносу та основні фактори, які впливають на стирання протектору шин. На основі аналізу наукових робіт, досліджено вплив виокремлених факторів на зміну концентрації твердих частинок  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$  у викидах від зносу шин.

Встановлено, що значний вплив на підвищення викидів твердих частинок від зносу автомобільних шин має манера водіння, збільшення швидкості руху, навантаження на шини, тип дорожнього покриття. Визначено, що для нових автомобільних шин характерне підвищення концентрації викидів твердих частинок, що пояснюється певним періодом їх припрацювання. Встановлено також зростання концентрації твердих частинок при використанні зимових шипованих шин у порівнянні із нешипованими та літніми.

Запропоновано можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище.

## Список літератури

1. Макаров В. А. Особливості експлуатації та випробування еластичної шини автомобіля: монографія. Донецьк : Ноулідж, 2010. 150 с.
2. Кравченко О.П. До аналізу надійності автомобільних шин в умовах експлуатації / Кравченко О.П. та ін. *Машинознавство*. 2010, №8 (158). С. 35-38.
3. Дослідження видів зносу та ушкоджень пневматичних шин спеціалізованого автотранспорту / Кравченко О.П. та ін. *Логістика промислових регіонів: Матер. третьої міжнар. наук.-практ. конф.* Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2011. С. 384-388.
4. Динаміка колеса автомобіля: монографія / Абдулгасіс А.У. та ін.; за ред. Подригало М.А. та Полянського О.С. Х.:ХНАДУ, 2019. 199 с.
5. Колісні вузли сучасних автомобілів / Ларін А. Н. та ін. Харків: С.А.М., 2004. 260 с.
6. Tan Z, Berry A, Charalambides M, Mijic A, Pearse W, Porter A, Ryan M, Shorten R, Stettler M, Tetley T, Wright S, Masen M. (2023) Tyre wear particles are toxic for us and the environment. Imperial College London. doi: <https://doi.org/10.25561/101707>
7. Wik A. When the rubber meets the road. Ecotoxicological hazard and risk assessment of tire wear particles: Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Applied Environmental Science / Anna Wik.– Göteborg, 2008. 34 p.
8. Sadiksis I, Bergvall Chr., Johansson Chr., Westerholm R. (2012) Automobile tires – a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science & Technology*. Vol. 46. P. 3326-3334.
9. Pirjola L., Johansson Chr., Kupiainen K., Stojiljkovic A., Karlsson H., Hussein T. (2010) Road dust emissions from paved roads measured using different mobile systems. *Journal of the Air & Waste management association*. Vol. 60. P. 1422-1433.
10. Sjodin A., Ferm M., Bjork A., Rahmberg M., Gudmundsson A., Swietlicki E., Johansson Chr., Gustafsson M., Blomqvist G. (2010) Wear particles from road traffic - a field, laboratory and modelling study. Final report B1830. Swedish Environmental Research Institute. 97 P.
11. Nick Molden Tyre wear measurement approaches (2022). Emissions Analytics. – Made of access: URL: <https://www.emissionsanalytics.com/s/TA-05-04%20Emissions%20Analytics%20UNECEEU%20presentation%2030%20September%202022.pdf>.
12. У ЄС можуть запровадити вимоги до викидів мікрочастинок автомобільних шин (2022). Режим доступу: URL : <https://ua.motofocus.eu/news/45276,%D1%83-%D1%94%D1%81-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%>



- BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B8-%D0%B4%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%B8.
13. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Кабінет Міністрів України. Постанова від 14 серпня 2019 р. № 827. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text>.

## References

1. Makarov, V.A. (2010). *Osoblyvosti ekspluatatsii ta vyprovuvannia elastychnoi shyny avtomobilia [Features of operation and testing of an elastic car tire]*. Donets'k : Noulidzh [in Ukrainian].
2. Kravchenko, O.P. et al. (2010). Do analizu nadijnosti avtomobil'nykh shyn v umovakh ekspluatatsii [To the analysis of the reliability of car tires under operating conditions]. *Mashynoznavstvo - Mechanical engineering*, 8 (158), 35-38 [in Ukrainian].
3. Kravchenko, O.P. et al. (2011). Doslidzhennia vydiv znosu ta ushkodzen' pnevmatychnykh shyn spetsializovanoho avtotransportu [Research of types of wear and damage of pneumatic tires of specialized vehicles] . Logistics of industrial regions: *Tretia mizhnar. nauk.-prakt. konf. - Third international science and practice conf (pp. 384-388)*. Donets'k: LANDON-KhKhI [in Ukrainian].
4. Abdulhazis, A.U. et al. (2019). *Dynamika koleasa avtomobilia [Dynamics of a car wheel]*. Podryhalo, M.A. & Polians'kyj, O.S. (Eds.). Kh.:KhNADU [in Ukrainian].
5. Larin, A.N. et al. (2004) *Kolisni vuzly suchasnykh avtomobiliv [ Wheel units of modern cars]*. Kharkiv: S.A.M. [in Ukrainian].
6. Tan, Z., Berry, A., Charalambides, M. et al. (2023) Tyre wear particles are toxic for us and the environment. *Imperial College London*. [in English]. <https://doi.org/10.25561/101707>
7. Wik, A. (2008). *When the rubber meets the road. Ecotoxicological hazard and risk assessment of tire wear particles: Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Applied Environmental Science*. Göteborg [in English].
8. Sadiqsis, I., Bergvall, Chr., Johansson, Chr. et al. (2012). Automobile tires – a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science & Technology*. 46. 3326–3334. [in English].
9. Pirjola, L., Johansson, Chr., Kupiainen, K. et al. (2010) Road dust emissions from paved roads measured using different mobile systems. *Journal of the Air & Waste management association*. 60. 1422-1433. [in English].
10. Sjodin, A., Ferm, M., Bjork, A. et al. (2010) *Wear particles from road traffic – a field, laboratory and modelling study. Final report B1830*. Swedish Environmental Research Institute. [in English].
11. Nick Molden (2022). *Tyre wear measurement approaches. Emissions Analytics*. [in English]. URL: <https://www.emissionsanalytics.com/s/TA-05-04%20Emissions%20Analytics%20UNECEEU%20presentation%2030%20September%202022.pdf>.
12. U YeS mozhut' zaprovadyty vymohy do vykydiv mikrochastynok avtomobil'nykh shyn [The EU may introduce requirements for microparticle emissions from car tires] (2022). URL : <https://ua.motofocus.eu/news/45276,%D1%83-%D1%94%D1%81-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B8-%D0%B4%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%B8> [in Ukrainian].
13. Postanova Kbinetu Ministriv Ukrainy vid 14 serpnia 2019 № 827 "Deiaki pytannia zdijsnennia derzhavnogo monitorynhu v haluzi okhorony atmosferneho povitria" [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 14, 2019 № 827 "Some issues of state monitoring in the field of atmospheric air protection"]. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].

**Pavlo Prohni**, Senior Lecturer, PhD, **Pavlo Popovich**, Prof., DSc., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ihor Loik**, post-graduate, **Serhii Myshko**, post-graduate, **Yurii Koval**, post-graduate, **Maksym Vitruk**, post-graduate

*Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine*

### To the analysis of emissions from the wear of automobile tires as an environmental component of the use of road transport

In the work, a study of the negative impact of vehicles on the environment, namely emissions from the wear of automobile tires, was carried out. As a result, tire dust is released into the environment, which settles on the roads, or gets into the air and is carried over considerable distances. The research of European and American scientists on the wear and tear of vehicle tires during their movement and the harmfulness of these emissions to human health is analyzed. The mechanism of tire tread wear has been studied, its types have been determined, and the factors affecting wear of the tire tread have been determined. Based on the analysis of scientific research,

the influence of the established factors on the change in the concentration of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  solid particles in emissions from car tire wear was determined. It was found that an aggressive driving style contributes to a significant increase (by 78 times) in the concentration of solid particles in emissions during tire wear. An increase in the level of emissions is also influenced by an increase in the load on the tires and an increase in the speed of movement. It was determined that new car tires are characterized by an increase in the concentration of particulate emissions, which is explained by a certain period of their running-in. An increase in the concentration of solid particles was also established when using studded winter tires compared to non-studded and summer ones. Possible steps for deepening research on the problem of solid particle emissions from tire wear and their impact on the environment are proposed. Among them: clear compliance with the load index when choosing tires, compliance with speed regimes, ensuring compliance of tire materials with wear resistance standards, taking into account the specifics of the impact of materials and the limit sizes of their components on the wear of automobile tires when designing coatings for new automobile roads and modernization of existing ones.

**automobile tire, tread abrasion, emissions from tire wear,  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  particulate matter**

Одержано (Received) 01.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 10.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 629.113

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.136-145](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.136-145)

**П.Б. Прогній<sup>1</sup>**, ст. вик., канд. техн. наук, **Д.П. Попович<sup>2</sup>**, здобувач вищої освіти, **О.В. Чорна<sup>1</sup>**, доц., канд. екон. наук, **Р.І. Розум<sup>1</sup>**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Буряк<sup>1</sup>**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Бірючинський<sup>1</sup>**, асп., **М.Р. Башуцький<sup>1</sup>**, асп.

<sup>1</sup>Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

<sup>2</sup>Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Тернопіль, Україна

e-mail: [rozoom\\_ruslan@ukr.net](mailto:rozoom_ruslan@ukr.net)

## Дослідження гальмівної динаміки автопоїзда

У статті проведено аналіз динамічних характеристик гальмівного процесу дволанкового сідельного автопоїзда під час прямолінійного та криволінійного руху. Одержано залежності для розрахунку значення нормальних реакцій, що діють на колесах транспортного засобу. Встановлено, що під час зміни величини маси напівпричепа відбувається найбільше довантаження на вісь напівпричепа, найменше – передньої осі автомобіля-тягача. Під час гальмування в процесі прямолінійного руху, при підвищенні інтенсивності гальмування здійснюється зменшення навантаження задньої осі тягача, а також осей напівпричепа за рахунок збільшення навантаження на передню вісь автомобіля-тягача. Необхідно відмітити, що одночасно із розвантаженням осей напівпричепа відбувається збільшення навантаження на опорно-зчпний пристрій транспортного засобу, результатом чого, в свою чергу, є підвищення навантаженості осей тягача. Гальмівна динаміка автопоїзда у криволінійному русі показує, що підвищення інтенсивності гальмування супроводжується перерозподілом величин нормальних опорних реакцій та довантаження передньої осі тягача. Разом з тим, більша величина нормальної реакції є характерною для коліс, що перебувають на зовнішньому колі відносно центру повороту. Даний ефект пояснюється впливом відцентрових сил. Максимальна величина бортового відхилення нормальних опорних реакцій спостерігається на задній осі тягача.

**стійкість, гальмування, дволанковий автопоїзд, нормальні реакції опорної поверхні, прямолінійний рух, криволінійний рух**

**Постановка проблеми.** Підвищення попиту на вантажні перевезення автомобільним транспортом безпосередньо впливає на тенденцію щодо зростання швидкісних режимів руху та збільшення рівня завантаження сучасних автопоїздів. Це в свою чергу вимагає підвищення безпеки їх використання та покращення експлуатаційних властивостей.