

Вплив колійності на покритті автомобільної дороги на безпеку руху під час виконання маневрів автомобілями

Influence of rules on the road surface on traffic safety during maneuvers by vehicles

Смолянюк Р.В., к.т.н., доц., завідувач кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків)

Smolianiuk R.V., Ph.D., assoc., Head of the Department of Construction and Operation of Motor Roads named after O.K. Birulia (Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv)

В результаті впливу різних чинників на автомобільних дорогах утворюються колії. Колії не тільки погіршують естетичний вигляд покриття дороги, а й становлять небезпеку для автомобілів. Очевидно, що під час опадів в коліях накопичується вода, що може привести до аквапланування і втрати стійкості автомобілем. На сухих покриттях колійність також може становити небезпеку, коли автомобіль виїжджає зі своєї смуги для виконання маневру обгону чи іншого маневру. Колії призводять до додаткових коливань підвіски, розхитування кузова, втрати контакту колеса з покриттям, що негативно позначається на безпеці руху. В статті наведено результати дослідження щодо оцінки такого впливу. Також наведено рекомендації щодо врахування цього впливу.

The influence of different factors leads to rut formation on roadways. Ruts not only diminish the aesthetic appearance of the pavement but also cause danger to vehicles. It is obvious that during precipitation water accumulates in ruts potentially leading to hydroplaning and loss of vehicle stability. On dry pavements, rutting can also be hazardous when a vehicle leaves its lane to perform an overtaking maneuver or other maneuvers. Ruts cause additional suspension oscillations, body sway and loss of wheel contact with the pavement, which negatively affects traffic safety. In 2022, Ukraine introduced rut depth requirements for roads in operation for the first time. However, it must be understood that non-compliance with these regulatory standards does not immediately result in resolving such issues through repair work. The reasons are evident – a significant lack of funding currently exists and is likely to persist for quite some time. From the moment of problem identification until its resolution, the road will remain in operation. This article presents the results of a research evaluating the effect of rut-affected pavement on a vehicle performing a maneuver. For this purpose, pavement models with varying rut parameters were created within the following ranges: rut depth from 0 mm to 100 mm, rut width from 300 mm to 1500 mm and rut base from 1700 mm to 2100 mm. The cross-slope of the roadway was set at 25%, with a dual-slope cross-section profile. Surface modeling was conducted using RutGenerator software developed by

KhNADU. The Kristy model was chosen to calculate the parameters of lane-changing maneuvers as it provides the most accurate representation for modern vehicles. The primary distinction of this methodology from Illarionov's approach lies in limiting the maximum lateral lane displacement based on the vehicle's sideslip condition, rather than its overturning condition, which better aligns with the characteristics of modern vehicles. Using RutGenerator software, vehicle trajectory simulations during a lane-change maneuver were carried out for speed ranges from 50 km/h to 130 km/h. Basing on the calculated trajectories, pavement profiles along the vehicle's path during the maneuver were constructed. The resulting set of profiles was analyzed using the ProVal 3.51 software package developed by The Transtec Group. The developed methodology can be used to plan measures to ensure road traffic safety in areas with rutting. Such measures may include speed limits, restrictions on overtaking and others.

Ключові слова: колійність, аквапланування, маневри автомобілів, Міжнародний Індекс Рівності.

Keywords: rut, hydroplaning, vehicle maneuvers, International Roughness Index.

Під впливом цілої низки чинників на проїзній частині автомобільних доріг а, особливо, на нежорстких дорожніх одягах, утворюються деформації відомі як колії [1]. На більшості доріг України колія присутня в тій чи іншій мірі (рис. 1).



Рис. 1. Автомобільна дорога Київ – Харків – Довжанський км 359 (до проведення ремонтних робіт)

Як показують дослідження авторів найбільш значні деформації дорожнього покриття у поперечному напрямку утворюються саме на дорогах з великою інтенсивністю руху, якими є магістральні дороги. Колійність на дорогах не

тільки не тільки знижує естетичний вигляд покриття, а й становить реальну небезпеку з наступних причин:

– якщо поверхня є водонепроникною, у колії збирається вода та можливе виникнення явища аквапланування [2] коліс автомобіля, при якому ускладнюється можливість його гальмування (рис. 2);



Рис. 2. Колійність на автомобільній дорозі II категорії, фото зроблене через 7 годин після закінчення дощу

– із збільшенням глибини колії, ускладнюється управління транспортним засобом, що становить додаткову небезпеку;
– в зимовий період року при переході температури вище нуля в смузі накату збирається вода, а при зворотному циклі вона замерзає і таким чином виникає велика небезпека руху автомобільного транспорту.

Виходячи з вище наведеного, під час обґрунтування максимально допустимої глибини колії на автомобільних дорогах слід використовувати наступні основні критерії забезпечення безпечних та комфортних умов:

1. максимальне зниження або недопущення ймовірності виникнення ефекту аквапланування в допустимому діапазоні швидкостей;
2. недопущення ймовірності втрати стійкості автомобілем під час виконання маневрів (обгону, зміни смуги руху тощо);
3. нормування рівня динамічного впливу на транспортний засіб та водія під час виконанні маневрів в залежності від вимог щодо комфорту руху;
4. врахування особливостей утримання автомобільних доріг в зимовий період.

Вітчизняні та закордонні вчені тривалий час займаються проблемою оцінки впливу водної плівки, що знаходиться на покритті, на умови руху автомобіля [2-5]. В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень були визначені умови виникнення аквапланування, та визначено ряд емпіричних залежностей швидкості, при якій виникає аквапланування; визначено залежності глибини стоку води від шорсткості, виміряні значення коефіцієнтів зчеплення при різних швидкостях і різних товщинах плівки води.

Основним результатом проведених досліджень стало обґрунтування значень поперечного ухилу, що використовується у чинних нормативних документах щодо проектування автомобільних доріг [6].

В Україні в 2022 вперше було введено вимоги до максимального значення глибини колії для доріг, що знаходять в експлуатації [7]. В той самий час слід розуміти, що невідповідність дороги вимогам нормативних документів не призведе одразу до усунення цих проблем шляхом виконання ремонтних робіт. Причини цьому очевидні – істотний брак коштів, який є зараз і, очевидно, буде досить тривалий час. На весь час з моменту виявлення проблеми і до моменту її усунення дорога буде знаходитися в експлуатації. Тому задачею дорожніх служб буде забезпечення безпеки руху на таких ділянках. Важливим є врахування всіх проблем, які виникають внаслідок наявності колій на покритті.

Проблеми оцінки стійкості автомобіля під час виконання маневрів на покриттях уражених колійністю, приділяється значно менше уваги ніж акваплануванню. Переїзд колесом автомобіля випору між коліями і заїзд в сусідню колію, з переїздом на сусідню смугу руху, яка також уражена колійністю будуть викликати додатковий динамічний вплив на елементи підвіски автомобіля. Для оцінки цього впливу виконано моделювання поверхні покриття, ураженого колійністю, зі зміною параметрів колії в наступних межах:

- глибина колії від 0 мм до 100 мм;
- ширина колії від 300 мм до 1500 мм;
- база колії від 1700 мм до 2100 мм;

Поперечний ухил проїзної частини прийнято 25 %, поперечний профіль – двох скатний. Моделювання поверхні відбувалось за допомогою програмного забезпечення RutGenerator розробленого в ХНАДУ. Графічне відображення моделі поверхні покриття ураженої колією наведено на рисунку 3.

Відповідно до теоретичних передумов, викладених вище, було здійснено розрахунок траєкторій руху автомобіля під час виконання маневрів. Траєкторія, що отримана для конкретного маневру, накладається на модель дорожнього покриття. Перетин траєкторії з моделлю поверхні створює лінію, яка є розрахунковим профілем — це лінія, що визначає профіль, який буде проходити під колесом автомобіля під час маневру.

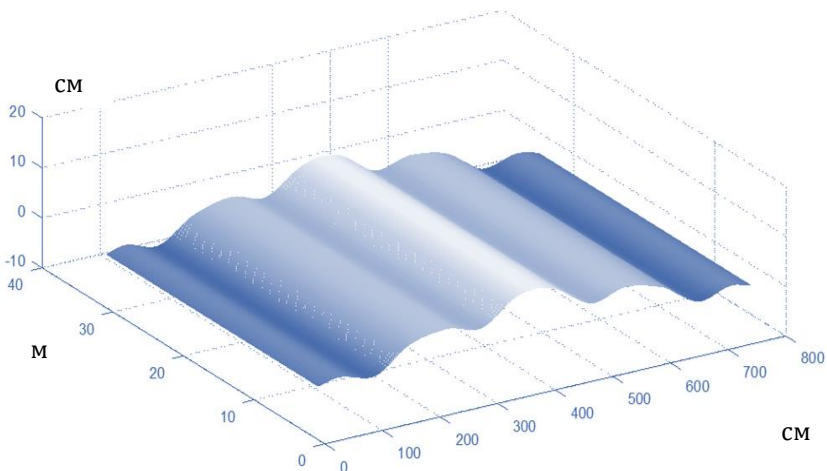


Рис. 3. Модель ділянки покриття довжиною 40 м з коліями глибиною 30 мм

Для розрахунку параметрів маневру зміни смуги руху обрано модель Крісті, оскільки вона є найбільш точною для сучасних транспортних засобів. Основною відмінністю цієї методики від методики Ілларіонова є обмеження максимального поперечного зміщення смуги руху за умови бічного зносу автомобіля, а не за умови його опрокидування, що краще відповідає характеристикам сучасних транспортних засобів.

Згідно з обраною моделлю для маневру зміни смуги руху, розраховується граничний радіус повороту зовнішньої точки автомобіля за умови зчеплення коліс з дорогою:

$$R_{\text{пр}} = \frac{V_a^2}{127 \cdot \varphi} + 0,5 \cdot B_a, \quad (1)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення при бічному ковзанні, 0,8;

V_a – швидкість транспортного засобу, км/год;

B_a – габаритна ширина транспортного засобу, 1,7 м.

Максимальне поперечне зміщення розраховується за залежністю (2):

$$y = 2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a - \sqrt{(2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a)^2 - S_M^2}, \quad (2)$$

де S_M – відстань, подолана за час маневру.

За залежністю 2 відстань, необхідну для виконання безпечного маневру зміни смуги руху можна розрахувати за залежністю (3):

$$S_M = \sqrt{2 \cdot (2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a) \cdot y - y^2}. \quad (3)$$

З урахуванням наведеної залежності за допомогою програмного забезпечення RutGenerator було здійснено моделювання траєкторій руху транспортного засобу під час маневру «зміна смуги руху» в діапазоні швидкостей від 50 км/год до 130 км/год. На основі розрахованих траєкторій побудовано профілі поверхні дорожнього покриття по шляху руху транспортного засобу під час виконання маневру (рис. 4). Отримана сукупність профілів була проаналізована з використанням програмного комплексу «ProVal 3.51» розробленого «The Transtec group» [8].

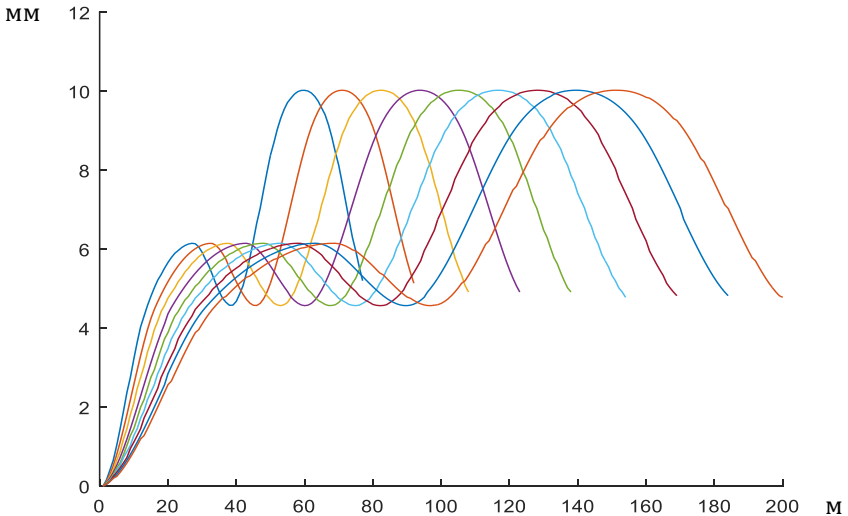


Рис. 4. Профілі моделі покриття дороги при виконанні маневрів з різними швидкостями для правого колеса легкового автомобіля

Вказане програмне забезпечення знаходиться у вільному доступі. Розрахунок полягає у моделюванні проїзду автомобіля зі сталими стандартизованими характеристиками підвіски (т.з. «золотий автомобіль») по заданому профілю з реєстрацією параметрів колювання підресореної маси (кузова автомобіля) відносно непідресореної [9-10].

Серед основних параметрів, що підлягають розрахунку: сумарне колювання та графік переміщення протягом проїзду ділянки, що оцінюється.

Використання даних моделювання дає можливість об'єктивно оцінити стан ділянки за рівністю та локалізувати окремі нерівності (рис. 5).

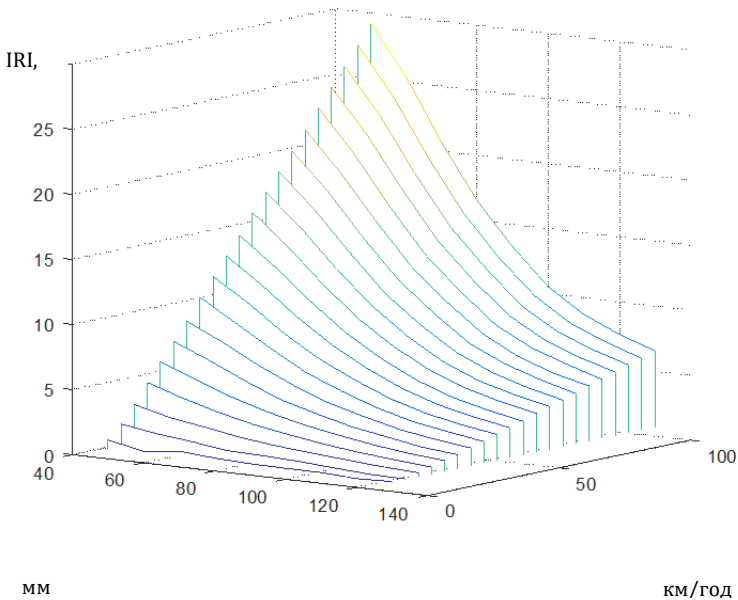


Рис. 5. Залежності оцінки побудованих траєкторії руху за показником IRI від швидкості виконання маневру

Наведені закономірності стосуються обмеження рівня динамічного впливу на автомобіль, який виникає при його русі по спотвореному колійності поперечному профілю. Тому термін «глибина колії» в цьому контексті визначається, в першу чергу, як максимальне перевищення поперечного профілю, яке автомобіль долає під час маневру, тобто різниця між відмітками низу колії та верхньою точкою її лівого гребня.

За наведеними розрахунками можна зробити наступні висновки.

При виконанні маневру «обгін» під кутом 2° на покритті з коліями глибиною 50 мм, автомобіль буде отримувати навантаження на елементи підвіски, еквівалентне навантаженню від покриття з нерівністю 2,5 м/км (за показником IRI). Така рівність не відповідає граничним значенням, встановленим для доріг вищої категорії – 2 см/км. Обгін під кутом 2° можливий лише за умов вільного руху транспортного потоку, що є дуже рідким. Зазвичай кут обгону складає не менш 5° . При такому куті обгін на покритті, ураженому коліями глибиною 50 мм буде відповідати руху по покриттю з рівністю 7 см/км (за IRI). Покриття з такою нерівністю

потребують негайного ремонту. Безпечна швидкість руху на таких покриттях складає – 80 км/год.

Наведену методіку можна використовувати для планування заходів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху на ділянках, де присутні колії. Такими заходами можуть бути: обмеження швидкості руху, введення обмеження на обгін, тощо.

References

- 1.Khymeryk T.Iu., Kraiushkina K.V., Bieliatynskyi A.O. Likvidatsiia koliinosti – zasib pidvyshchennia dovhovichnosti dorozhnoho odiahu. Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. PoINTU. 2016. Vyp. 1 (46). S. 263 – 270.
2. Smolianiuk R.V. Otsinka ekspluatatsiinoho stanu dorozhnikh pokryttiv na osnovi vdoskonalennia metodiv vymiriuvannia rivnosti ta zchipnykh yakostei: dys. ... kandydata tekhn. nauk: 26.10.05 / Smolianiuk Roman Volodymyrovych. Kh., 2005. – 157 s.
- 3.Congzhen, Liu & Gao, Chen & Hongzhu, Liu & Qiang, Ma & Chengwei, Xu & Hui, Meng & Guol, Wang. (2024). Investigating Tire Ground Contact Mechanics Under Partial Hydroplaning Conditions: A Multivariate Analysis Approach. Insights of Automation in Manufacturing. 1. 106-117. 10.59782/iam.v1i1.212.
- 4.Vilsan, Alexandru & Sandu, Corina. (2023). Hydroplaning of Tires: A Review of Numerical Modeling and Novel Sensing Methods. 10.1115/DETC2023-116314.
- 5.Lee, Hyung & Carvajal, Mateo & Holzschuher, Charles & Choubane, Bouzid. (2021). FDOT's Enhanced Hydroplaning Prediction Tool. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2675. 10.1177/03611981211011479.
6. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. [Chynnyi vid 2016-04-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2015. 112 s.
7. DSTU 3587:2022 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu. [Chynnyi vid 2022-12-01]. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2022. 31 s.
8. Ofitsiyniy sait kompanii Transtec [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.thetranstecgroup.com/>, dostup do informatsiinoho resursu avtoryzatsii ne potrebuie. – Nazva z ekranu.
- 9.Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre & Moguerza, Javier. (2024). Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring. Scientific Reports. 14. 10.1038/s41598-024-70936-z.
- 10.Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre. (2024). Road condition monitoring by IRI using sensors implemented on an ATV. 10.18687/LACCEI2024.1.1.1887.

Література

1. Химерик Т.Ю., Краюшкіна К.В., Белятинський А.О. Ліквідація колійності – засіб підвищення довговічності дорожнього одягу. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. ПолНТУ. 2016. Вип. 1 (46). С. 263 – 270.
2. Смолянюк Р.В. Оцінка експлуатаційного стану дорожніх покриттів на основі вдосконалення методів вимірювання рівності та зчпних якостей: дис. ... кандидата техн. наук: 26.10.05 / Смолянюк Роман Володимирович. Х., 2005. – 157 с.
3. Congzhen, Liu & Gao, Chen & Hongzhu, Liu & Qiang, Ma & Chengwei, Xu & Hui, Meng & Guol, Wang. (2024). Investigating Tire Ground Contact Mechanics Under Partial Hydroplaning Conditions: A Multivariate Analysis Approach. Insights of Automation in Manufacturing. 1. 106-117. 10.59782/iam.v1i1.212.
4. Vilsan, Alexandru & Sandu, Corina. (2023). Hydroplaning of Tires: A Review of Numerical Modeling and Novel Sensing Methods. 10.1115/DETC2023-116314.
5. Lee, Hyung & Carvajal, Mateo & Holzschuher, Charles & Choubane, Bouzid. (2021). FDOT's Enhanced Hydroplaning Prediction Tool. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2675. 10.1177/03611981211011479.
6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 112 с.
7. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану. [Чинний від 2022-12-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 31 с.
8. Офіційний сайт компанії Transtec [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.thetranstecgroup.com/>, доступ до інформаційного ресурсу авторизації не потребує. – Назва з екрану.
9. Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre & Moguerza, Javier. (2024). Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring. Scientific Reports. 14. 10.1038/s41598-024-70936-z.
10. Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre. (2024). Road condition monitoring by IRI using sensors implemented on an ATV. 10.18687/LACCEI2024.1.1.1887.