

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Новаковський Д.М., канд. техн. наук,
Смолянчук Р.В., канд. техн. наук

ОЦІНКА ПОПЕРЕЧНОЇ РІВНОСТІ ПОВЕРХНІ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті виконано аналіз впливу поперечної рівності на безпеку та комфорт дорожнього руху. Проаналізовано вплив поперечної рівності на динамічну стійкість транспортних засобів при виконанні маневрів.

Об'єкт дослідження – вплив поперечної рівності на безпеку дорожнього руху.

Мета роботи – обґрунтування граничних значень глибини колії.

Метод дослідження – аналіз та систематизація експериментальних досліджень.

Збільшення інтенсивності руху та осьових навантажень приводять до інтенсифікації процесу накопичення пластичних деформацій дорожніх конструкцій. Питання впливу поперечної рівності покриття на безпеку та комфорт дорожнього руху не достатньо вивчені в нашій країні. Це є причиною відсутності обґрунтованих нормативних значень допустимої глибини колії. Для обґрунтування допустимої глибини колії необхідно враховувати: недопущення або максимальне зниження ймовірності виникнення ефекту аквапланування, недопущення ймовірності втрати стійкості транспортним засобом при виконанні маневрів, обмеження рівня динамічного впливу на транспортний засіб та водія при виконанні маневру в залежності від вимог щодо комфорту таруху.

Комплексне врахування наведених критеріїв вимагає додаткового аналізу такого процесу як реакція в динамічній підсистемі автомобіль-дорога. Додаткового вивчення вимагають також закономірності поперечних деформацій, можливі траєкторії та швидкості руху транспортних засобів при маневрах, інш.

Результати дослідження можуть бути використанні при нормуванні допустимих значень глибини колії на автомобільних дорогах.

Ключові слова: глибина колії, динамічна стійкість, безпека руху, поперечна рівність.

Аннотация. В статье выполнен анализ влияния поперечной ровности на безопасность и комфорт дорожного движения. Проанализировано влияние поперечной ровности на динамическую устойчивость транспортных средств при выполнении маневров.

Объект исследования – влияние поперечной неровности на безопасность дорожного движения.

Цель работы – обоснование граничных значений глубины колеи.

Метод исследования – анализ и систематизация экспериментальных исследований.

Увеличение интенсивности движения и осевых нагрузок приводят к интенсификации процесса накопления пластических деформаций дорожных конструкций. Вопрос влияния поперечной ровности покрытия на безопасность и комфорт дорожного движения недостаточно изучены в нашей стране. Это является причиной отсутствия обоснованных нормативных значений допустимой глубины колеи. Для обоснования допустимой глубины колеи необходимо учитывать: недопущение или максимальное снижение вероятности возникновения эффекта аквапланирования, недопущения потери устойчивости транспортным средством при выполнении маневров, ограничения уровня динамического воздействия на транспортное средство и водителя при выполнении маневра в зависимости от требуемого комфорта движения.

Комплексный учет указанных критериев требует отдельного анализа такого процесса как реакция в динамической подсистеме автомобиль-дорога. Дополнительного изучения требуют также закономерности поперечных деформаций, возможные траектории и скорости движения транспортных средств при маневрах, др.

Результаты исследования могут быть использованы при нормировании допустимых значений глубины колеи на автомобильных дорогах.

Ключевые слова: глубина колеи, динамическая устойчивость, безопасность движения, поперечная ровность.

Annotation. The paper analyses influence of transverse roughness on safety and comfort of road traffic. Analyzed of the influence of transverse roughness on dynamic stability of vehicle during maneuver.

Object of the study – the influence of transverse roughness on road traffic safety.

Purpose of the study – substantiation of allowable rut depth.

Method of the study – analysis and systematization of experimental research.

Increased traffic and axial loads lead to intensification of the process of road constructions plastic deformations. The influence of pavement transverse roughness on the safety and comfort of road traffic is not sufficiently studied in our country. This is the reason for the lack of standard norms in the allowable rut depth. For substantiation of allowable rut depth must be considered: prevent or reduce of aquaplaning risk, prevent the risk of loss of vehicle stability while performing maneuvers, limit the dynamic impact on the vehicle and driver according to requirements for traffic comfort.

Complex consideration the above criteria requires individual analysis of dynamic response of subsystem road-vehicle. Additional study also require the analysis of possible transverse deformation, possible trajectory and speed of the vehicle during maneuvers, etc.

The result of investigation can be used for standardization of acceptable rut depth in automobile roads.

Keywords: rut depth, dynamic stability, traffic safety, transverse roughness.

Постановка проблеми

Рівність покриття автомобільних доріг слід розглядати як один з основних транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг з точки зору економічної ефективності функціонування автомобільного транспорту. При цьому аналіз рівності тільки в поздовжньому напрямку (переважно по смугам накату з застосуванням поштовхомірів) не дозволяє оцінити умови руху транспортного засобу при виконанні маневрів пов'язаних зі зміною смуги руху. Така оцінка обмежена також з точки зору перевірки умови забезпечення поверхневого водовідведення, порушення якого є однією з вагомих причин підвищення аварійності [1]. Таким чином, доцільним напрямком підвищення ефективності оцінки транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільних доріг є оцінка не тільки повздовжньої, а і поперечної рівності покриття починаючи з її нормування за критеріями які стосуються обмеження динамічного впливу на транспортні засоби при виконанні маневрів та забезпечення поверхневого водовідведення.

Проведений авторами аналіз впливу параметрів поперечної деформації поверхні покриття на ймовірність виникнення ефекту аквапланування внаслідок погіршення поверхневого водовідведення дозволив встановити

граничні значення таких деформацій в залежності від швидкості руху транспортних засобів [2]. Окремого вивчення вимагає процес динамічного впливу поперечних нерівностей на транспортні засоби при виконанні маневрів та обґрунтування допустимого рівня таких нерівностей в залежності від вимог до безпеки та комфорту дорожнього руху.

Задачі дослідження

Розв'язання поставленої проблеми вимагає вирішення ряду задач, таких як:

- встановлення загальних закономірностей геометрії поперечних деформацій з подальшим моделюванням типових поперечних профілів поверхні дорожнього одягу;
- моделювання типових маневрів транспортних засобів з різною швидкістю руху;
- оцінка впливу параметрів поперечної рівності на комфорт та безпеку дорожнього руху;
- обґрунтування переліку параметрів поперечної рівності з нормуванням їх граничних значень.

Моделювання типових профілів поперечної деформації дорожніх покриттів

Ґрунтова оцінка впливу поперечної деформації на умови дорожнього руху вимагає моделювання широкого діапазону зміни геометричних параметрів нерівностей. Серед найбільш типових поперечних деформацій слід розглядати колійність автомобільних доріг. Причини утворення деформацій у вигляді колії на даний час достатньо відомі [3]. Серед комплексу причин які впливають на формування геометрії поперечного профілю найбільшою мірою слід виділити тип транспортного засобу та схему прикладання навантаження. В роботі в якості розрахункової схеми транспортного навантаження прийнятий найбільш розповсюджений вантажний автомобіль, що спостерігається на дорогах загального користування України (рис. 1). Згідно з прийнятою розрахунковою схемою виконано моделювання поверхні покриття, ураженого колією зі зміною параметрів колії в наступних межах:

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

Поперечний ухил проїзної частини прийнято 25 %, поперечний профіль – двоскатний. Моделювання поверхні покриття проводилось за допомогою програмного забезпечення RutGenerator розробленого в ХНАДУ. Графічне відображення моделі поверхні покриття ураженої колією наведено на рис. 2. Аналіз геометрії поперечного профілю моделі поверхні покриття відповідає результатам польових досліджень щодо реєстрації колійності на дорогах загального користування України [1].

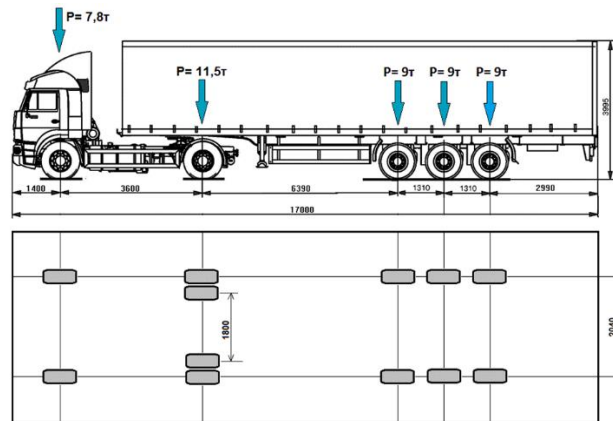


Рисунок 1 – Розрахункова схема прикладання транспортного навантаження

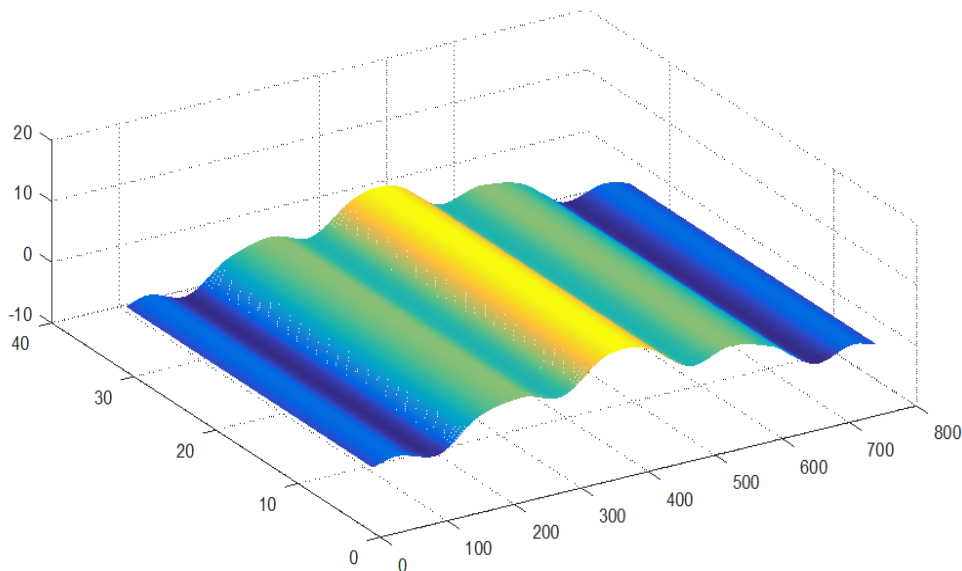


Рисунок 2 – Модель поверхні покриття автомобільної дороги ураженої колією

Моделювання типових маневрів транспортних засобів

Вплив поперечних деформацій у вигляді колії на умови дорожнього руху проявляється в більшій мірі при виконанні маневрів транспортними засобами, пов'язаних зі зміною смуги руху. Для моделювання типових маневрів було виконано розрахунок ймовірних траєкторій руху автомобіля. Для розрахунку

параметрів маневру транспортного засобу при зміні смуги руху обрано модель Крісті [4]. Відмінність прийнятої методики від методики Ілларіонова [5] полягає у обмеженні максимального поперечного зміщення за умовою бічного зносу транспортного засобу а не за умовою його перекидання, що більш точно відповідає сучасним транспортним засобам [6].

З використанням програми RutGenerator виконано моделювання траєкторій руху транспортного засобу при виконанні маневру «зміна смуги руху» для діапазону швидкостей від 50 км/год до 130 км/год. Отримана для конкретного маневру траєкторія руху автомобіля накладається на модель поверхні покриття. Перетин, проведений через траєкторію руху автомобіля, перетинає модель поверхні в певній лінії, що представляє собою розрахунковий профіль, тобто профіль руху автомобіля під час виконання маневру (рис. 3).

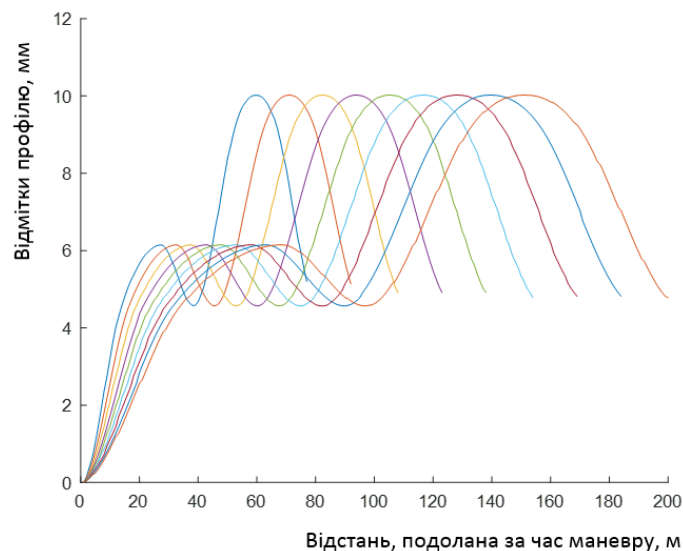


Рисунок 3 – Поздовжні профілі руху транспортного засобу при виконанні маневрів з різними швидкостями (праве колесо)

Оцінка впливу параметрів поперечної деформації на динамічну стійкість транспортних засобів

Оцінка сукупності поздовжніх профілів, отриманих в результаті моделювання маневрів по ураженій колією поверхні, виконувалась з використанням програмного комплексу ProVAL3.5 (The Transtec Group U.S. Department of Transportation) [7] (рис. 4). Результатом розрахунку є оцінка сукупності профілів за показником IRI (рис. 5). Послідовність та інтерпретація результатів такої оцінки регламентуються діючим нормативним документом [8].

При цьому слід враховувати, що наведений аналіз пов'язаний з обмеженням щодо рівня динамічного впливу на транспортний засіб, який виникає при подоланні ним деформованого поперечного профілю. Тому в терміні «глибина колії» в цьому випадку закладено, в першу чергу максимальне перевищення поперечного профілю, яке долає автомобіль при маневрі, а саме різницю між відмітками низу колії та верху її лівого гребню.

Нормування граничних значень параметрів поперечної деформації

З урахуванням попередніх досліджень серед геометричних параметрів поперечної рівності, що безпосередньо впливають на безпеку та комфорт дорожнього руху слід виділити:

- перевищення правого гребеню колії над її нижньою відміткою (надалі – правий випор) з позиції погіршення поперечного водовідведення та формування застою води в колії, що може стати причиною виникнення ефекту аквапланування [2];
- перевищення лівого гребеню колії над її нижньою відміткою (надалі – лівий випор) з позиції динамічного впливу на транспортний засіб при виконанні маневрів пов'язаних зі зміною смуги руху, що може стати причиною втрати стійкості транспортного засобу.

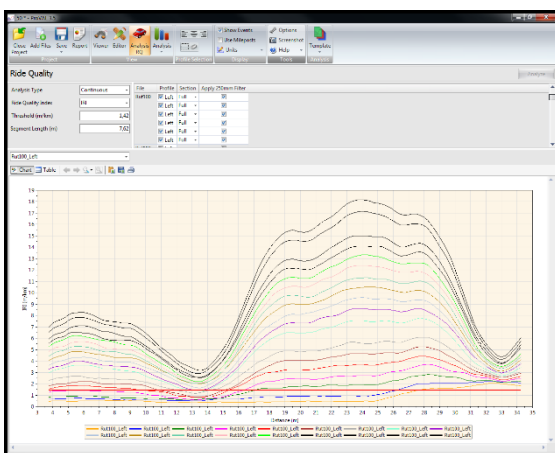


Рисунок 4 – Робоче вікно програми ProVAL3.5 з результатами розрахунку

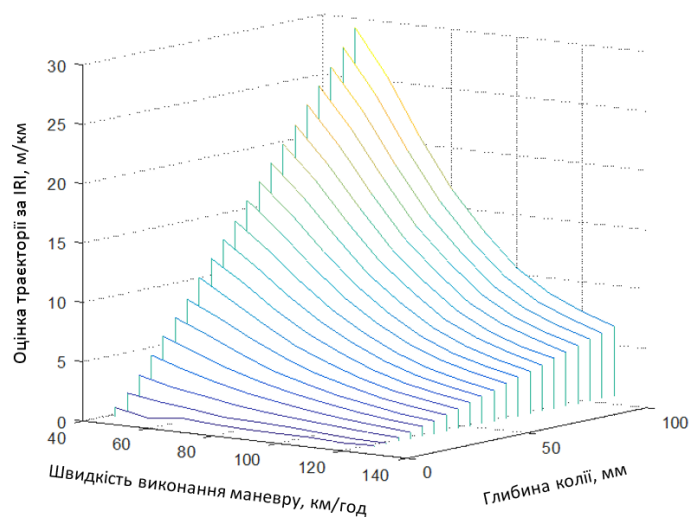


Рисунок 5 – Залежність оцінки траєкторії руху за показником IRI від глибини колії та швидкості виконання маневру

Нормування зазначених параметрів поперечної рівності має здійснюватися як по середньозваженим значенням з метою отримання статистичної оцінки ділянки обраної протяжності так і по значенням стандартного відхилення від середньозваженого значення з метою обмеження локальних концентрацій дефектів, що досліджуються. Оцінка відповідності параметрів поперечної рівності умовам руху повинна відбуватись для найгіршого значення, що вибирається з оцінок для правої та лівої колії руху.

При проведенні процедури нормування зазначених параметрів слід врахувати, що основним керуючим фактором є швидкість руху транспортного засобу. Тому в якості базової залежності слід приймати саме залежність допустимих параметрів поперечної нерівності від фактичної швидкості руху транспортних засобів.

В якості основної закономірності, що накладає обмеження на допустиме значення величини правого випору, прийнята залежність ймовірності виникнення ефекту аквапланування від товщини водної плівки та швидкості руху транспортного засобу [2], що дозволяє визначити безпечну товщину шару води на поверхні проїзної частини з урахуванням швидкості руху транспортного засобу. На формування водної плівки в зоні смуги накату окрім правого випору колії буде впливати також шорсткість покриття, що покращує поперечне водовідведення.

Обґрунтування гранично-допустимих значень висоти лівого випору колії повинне відбуватись з урахуванням умови динамічної стійкості транспортного засобу при виконанні маневрів, пов'язаних зі зміною смуги руху. Оцінка динамічного впливу на транспортні засоби передбачає окрім оцінки профілю застосування граничних значень показника IRI, що безпосередньо залежать від швидкості руху. В якості граничних значень IRI прийнято результати досліджень розробників методу IRI [9]. Вказану залежність наведено на рис. 6. З урахуванням прийнятих граничних умов виконано розрахунок залежності коефіцієнту поперечної рівності при виконанні маневру від його швидкості та величини лівого випору колії (рис. 7) за формулою 1.

$$K_p(h_k, V_a) = \frac{IRI_p(h_k, V_a)}{IRI_R(V_a)}, \quad (1)$$

де h_k – величина лівого випору колії, мм;

$V_{\text{з}}$ – швидкість виконання маневру, км/год;

$IRI_{\text{ф}}$ – фактична оцінка профілю за показником IRI;

$IRI_{\text{н}}$ – гранична оцінка профілю за показником IRI.

Залежність граничної величини лівого випору колії від швидкості виконання маневру для різних значень коефіцієнту поперечної рівності наведено на рис. 8. В якості нормативного значення коефіцієнту поперечної рівності прийнято значення 1. При цьому профіль руху транспортного засобу при виконанні маневру відповідає вимогам безпеки при значеннях $K_p \geq 1$.

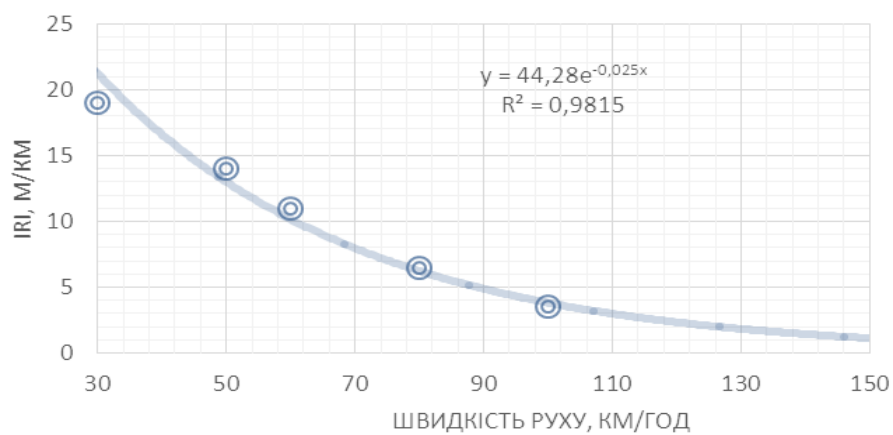


Рисунок 6 – Залежність граничних значень оцінки профілю за IRI від швидкості руху [9]

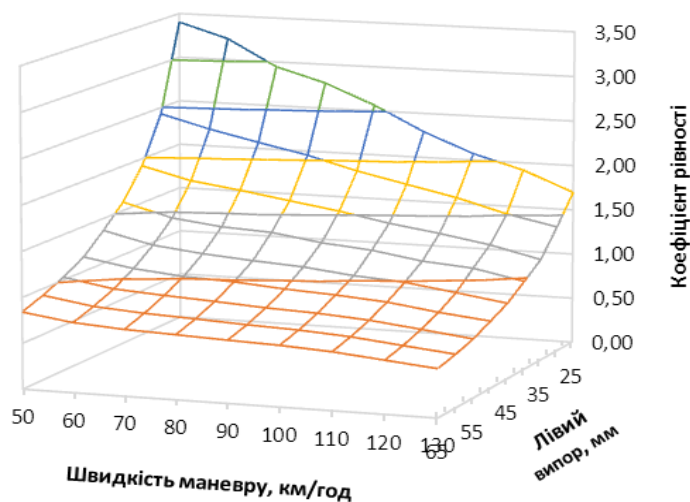
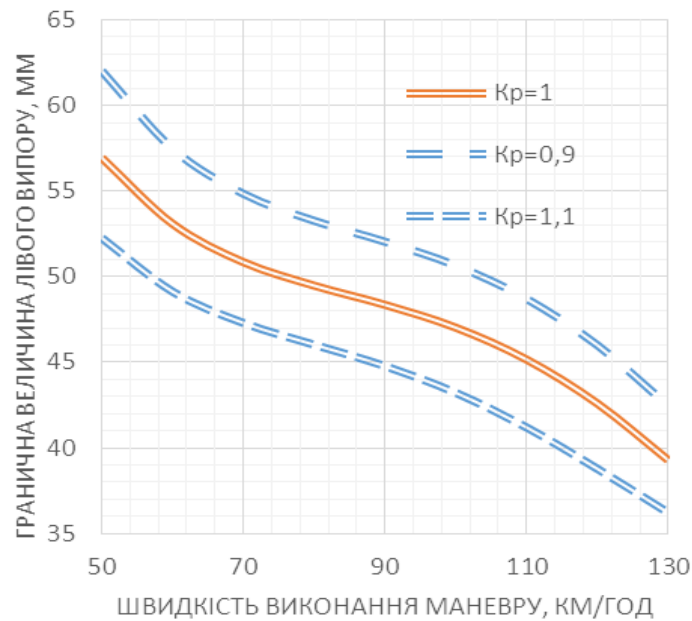


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнту поперечної рівності від величини лівого випору колії та швидкості виконання маневру



Рисунк 8 – Залежність граничної величину лівого випору колії від швидкості для різних значень коефіцієнту поперечної рівності

Гранично-допустимі значення лівого та правого випору колії в залежності від швидкості руху транспортного засобу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Граничнодопустимі значення геометричних характеристик колії

Швидкість руху, км/год	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Гранично-допустима величина правого випору колії, мм [2]	20	15	12	10	9	8	8	7	7
Гранично-допустима величина лівого випору колії, мм	57	52	51	50	48	46	45	42	39

Напрямки подальших досліджень

Детальний аналіз, виконаний в процесі даного дослідження показує, що спрощена методика визначення та оцінки глибини колії або товщини плівки води в колії не дозволяє повною мірою оцінити динамічний вплив на транспортний засіб при виконанні маневрів. Також застосування даної методики не достатньо для оцінки забезпечення поверхневого водовідведення внаслідок ігнорування поздовжніх ухилів. Тому для ефективної оцінки впливу поперечної рівності на експлуатаційний стан автомобільної дороги та її нормування необхідно виконати додаткові дослідження в наступних напрямках:

- оцінка та узагальнення сучасних підходів, що використовуються в світовій практиці при нормуванні поперечної рівності;

- удосконалення теоретичних та експериментальних досліджень впливу параметрів поперечної рівності
- на динамічну стійкість транспортних засобів та забезпечення поверхневого водовідведення;
- розробка рекомендацій щодо порядку вимірювання та оцінки параметрів поперечної рівності автомобільних доріг з використанням доступної в Україні приладової бази;
- розробка на нормування послідовності обробки результатів вимірювань з метою оцінки їх впливу на комфорт та безпеку дорожнього руху;
- розробка та метрологічна атестація програмного забезпечення для оцінки параметрів поперечної рівності. Розміщення програмного модулю у вільному доступі та розповсюдження серед зацікавлених організацій з метою підвищення ефективності впровадження методу у виробництво.

Висновки

1. На основі аналізу закономірностей впливу колії на безпеку дорожнього руху виділено основні критерії за якими має відбуватись нормування щодо її обмеження, а саме: зниження ймовірності виникнення ефекту аквапланування та обмеження рівня динамічного впливу на транспортний засіб при виконанні маневрів.

2. Обґрунтовано перелік параметрів поперечного профілю проїзної частини, що підлягають нормуванню. Такими параметрами є: гранична величина перевищення правого та лівого випорів колії відносно її нижньої відмітки.

3. За результатами проведеного дослідження отримано залежності граничних значень характеристик поперечної деформації поверхні дорожнього одягу від допустимої швидкості руху транспортних засобів.

Література

1. Смолянчук Р.В. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий на основе совершенствования методов измерения ровности и сцепных качеств: дис. кандидата техн. наук: 26.10.05 / Смолянчук Роман Володимирович. Х., 2005. – 157 с.
2. Новаковський Д.М. Обґрунтування нормативних значень показників поперечної рівності дорожніх покриттів / Д.М. Новаковський //

- Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – випуск 93. – Київ: НТУ, 2015. – С. 273-281.
3. Васильев А.П. Причины образования колеи и пути их устранения // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – №2. – С. 6–9.
 4. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы / Н.М. Кристи. – М.: ЦНИИЛСЭ, 1971. – 124 с.
 5. Расчет параметров маневра транспортных средств (Методическое письмо для экспертов). – М.: ВНИИСЭ, 1989. – 31 с.
 6. Стариков Е.Л. Определение параметров маневра автомобиля при исследовании ДТП / Е.Л. Стариков // Вестник ХНАДУ (сборник научных трудов). – 2013. – выпуск 61-62. – С. 179 – 184.
 7. Офіційний сайт компанії Transtec [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.thetranstecgroup.com/>, доступ до інформаційного ресурсу авторизації не потребує. – Назва з екрану.
 8. Автомобільні дороги. Оцінка рівності дорожніх покриттів за Міжнародним Індексом Рівності (IRI): СОУ 45.2-00018112-078:2012. – [Чинний від 2012-05-01]. – К.: Укравтодор, 2012. – 27с.
 9. Sayers M.W, Karamihas S.M. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. – The Regent of University of Michigan, September 1998. – 306 p.

Рецензенти

Павлюк Д.О., -р техн. наук, НТУ (Київ)

Гончаренко Ф.П., канд. техн. наук, ДП “Укрдіпроддор” (Київ)

Reviewers

Pavliuk. D.O., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Honcharenko F.P., Ph.D., “Ukrdiprodor” (Kyiv)