

УДК 625.7.032.32

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.186

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НЕРІВНОСТЕЙ МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА УМОВИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Смолянук Р. В.<sup>1</sup>, Смолянук Н. В.<sup>2</sup>, Старцев В. А.<sup>3</sup>, Захарченко М. Р.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Технологічні нерівності мостового полотна в місцях сполучення мосту з насипом та в районі деформаційних швів, а також дефекти, що виникають на штучних спорудах автомобільних доріг, можуть істотно впливати на комфортність та безпеку руху. У статті подані та проаналізовані результати проведеного моделювання впливу таких нерівностей на умови руху автомобіля за допомогою програмного комплексу ProVAL.*

***Ключові слова:** штучні споруди, мостове полотно, рівність, міжнародний індекс рівності (IRI), деформаційний шов, програмний комплекс ProVAL.*

### Вступ

Для забезпечення безпечного руху автомобілів з розрахунковими швидкостями та заданим рівнем комфорту поверхня покриття повинна мати стійку у часі рівність, від якої залежать зручність, безпека та швидкість руху автомобілів, динамічний вплив автомобіля на дорогу та штучні споруди, транспортні витрати, зокрема витрати пального, а також витрати, пов'язані з ремонтом автомобілів, а також основні показники, які визначають роботу автомобільного транспорту: собівартість перевезень та продуктивність роботи транспорту.

В Україні оцінювання рівності дорожнього покриття здійснюється покілометрово та без урахування штучних споруд, що знаходяться на шляхах сполучення.

### Аналіз публікацій

У вітчизняній практиці оцінка рівності дорожніх покриттів і вимоги до неї регламентуються ДСТУ 8745:2017 «Автомобільні дороги. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу» та «Технічними правилами ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України П-Г.1-218-113:2009». Для вимірювання рівності використовують триметрові рейки, нівеліри, поштовхоміри різних конструкцій і ПКРС-2У.

Триметрові рейки та нівеліри використовуються зазвичай у випадку приймання-здачі робіт під час будівництва, реконструкції або проведення ремонту. Контроль рівності експлуатованих доріг здійснюється за допомогою поштовхоміра різних конструкцій або ПКРС-2У [1, 2].

На штучних спорудах, зокрема на мостах та шляхопроводах, процес вимірювання рівності відбувається досить складно. Для плавного проїзду автомобілів вздовж моста та на підходах до нього, а також для забезпечення процесу стоку води покриття проїзної частини мосту повинно бути рівним та мати необхідні поздовжній та поперечний ухили [3].

Контроль за профілем покриття здійснюють шляхом нівелювання в межах мосту та на граничних з ним ділянках підходів, довжиною в 50–100 м. Профіль мосту знімають вздовж осі та у бордюрів на точках, які розміщені при прольоті до 10 м, – над опорами і в середині прольотів, при прольотах, більш ніж 10 м, – над опорами і в прольоті через кожні 5 м, починаючи від однієї з опор. На підходах точки нівелювання зазначають на кожних 5–10 м та в місцях просядок та переломів профілю.

Таким чином, необхідно вирішити завдання вдосконалення технологій оцінювання рівності дорожніх покриттів, врахування під час вимірювання рівності технологічних особливостей мостового полотна, використання сучасних пересувних лабораторій та програмних комплексів для оцінювання споживчих властивостей автомобільних доріг [4–6].

### Визначення мети й завдань

Метою є дослідження впливу нерівностей мостового полотна в місцях сполучення мосту з насипом та в районі деформаційних швів на умови руху автомобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно за допомогою сучасних програмних комплексів розробити модель вказаних нерівностей та проаналізувати отримані результати.

### Моделювання проїзду автомобіля через мостову споруду

На початку 80-х років минулого століття спеціалістами Світового банку було визначено 4 класи методів і методик оцінювання рівності, розроблених в усьому світі:

1 клас. Методики, що використовують найпростіші прилади, зокрема рейку та рівень, можливе також використання нівеліра. Рівність вимірюється в поздовжньому напрямку на 1 або 2 коліях. Використання приладів цього класу єтрудомістким і малопродуктивним.

2 клас. Устаткування так званого «безпосереднього вимірювання рівності». Це найсучасніші і високопродуктивні прилади, засновані на лазерних, ультразвукових чи інших датчиках, що дозволяють практично миттєво визначити відстань між умовним рівнем і дорожнім покриттям.

Рівність оцінюють за допомогою спеціальної програми, що моделює рух «золотого» автомобіля за виміряним профілем. Така методика є основою у вимірі International Road Index (IRI, Міжнародний Індекс рівності), що був розроблений фахівцями Мічиганського університету на замовлення Світового банку для проектів, які розробляють в Африці. Але з часом популярність цього показника зростає, і сьогодні він є одним з основних у світі [7].

3 клас містить так звані прилади дії у відповідь. Такі системи реєструють динамічний вплив на механізм приладу в результаті проїзду лабораторії з постійною швидкістю вздовж ділянки. До цієї групи належать поштовхоміри різних модифікацій, причіпні установки, які реєструють коливання піддресорної частини транспортного засобу.

4 клас. Експертне оцінювання, що здійснюється експертами, які використовують спеціальну шкалу з визначення IRI чи іншого показника, залежновід стану дороги.

Під час обстеження рівності автомобільних доріг рівність на мостах, шляхопроводах та інших інженерних спорудах окремо не вимірюється, але навіть якісно спроектовані та виконані деформаційні шви завжди показують нерівності у мостовому полотні автодорожніх мостів (рис. 1). Такі нерівності є причиною виникнення значних динамічних навантажень, особливо у випадках проїзду автомобілів великої вантажопідйомності. Динамічна дія під час цього процесу впливає і на конструкцію деформаційного шва, і на

транспортний засіб, і на пасажирів, а також позначається на конструкції штучної споруди.

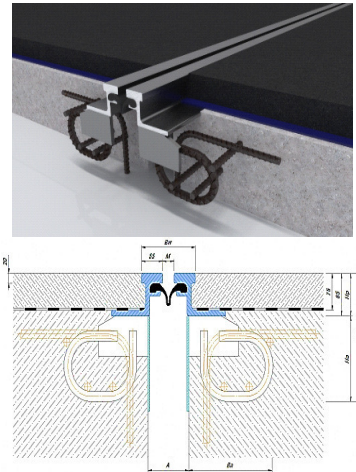


Рис. 1. Профіль BR 93 деформаційного шва Dewmark bridge

Результатами динамічного впливу є підвищений знос деталей автомобіля та деформаційних швів, розвиток втомних пошкоджень, зниження комфортності проїзду на деформаційних швах та безпеки руху в цій зоні мостового полотна, загальні та локальні пошкодження дорожнього одягу мостового полотна і несучих конструкцій мосту [8].

Відомо, що деформації, що спричиняються транспортними засобами є найбільш часто-повторюваними. Вони невеликі, але призводять до руйнування деформаційних швів (рис. 2), знижуючи показники рівності.



Рис. 2. Руйнування шарів дорожнього одягу вздовж деформаційного шва шляхопроводу на автомобільній дорозі М 29 Харків-Красноград-Перещепіно (Люботин-Мерефа) в селищі Люботин

Зважаючи на вищесказане, для оцінювання рівності більш доцільним буде застосу-

вання методик першого та другого класів, які дозволяють визначити фізичний профіль дороги та локалізувати нерівності [9], зокрема ті, що виникають в місцях сполучення мосту з насипом та в районі деформаційних швів.

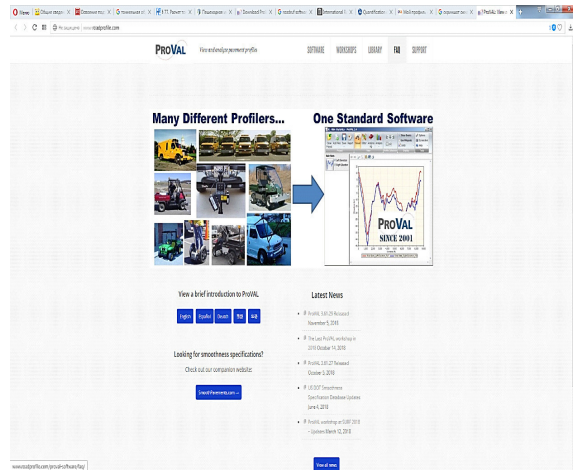


Рис. 3. Програмний комплекс ProVAL 3.61.29 для розрахунку IRI

Для аналізу таких нерівностей було здійснено моделювання проїзду автомобіля за допомогою програмного комплексу ProVAL 3.61.29 (Profile Viewing and Analysis), розробленого в Інституті транспортних досліджень Мічиганського університету (University Michigan Transportation Research Institute – UMTRI). Цей комплекс (рис. 3) містить показники, за якими можна оцінювати поздовжню рівність дорожніх покриттів, а також модулі статистичного аналізу даних, отриманих в результаті використання профілометричних систем [10, 11].

Результати розрахунку рівності під час руху автомобіля крізь сходинку (рис. 4) деформаційного шва в місці сполучення мостового полотна з насипом подані як графік на рис. 5. Нерівність прийнята за висоту до 5 см.

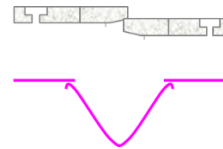


Рис. 4. Сходинка, що утворюється в місці деформаційного шва

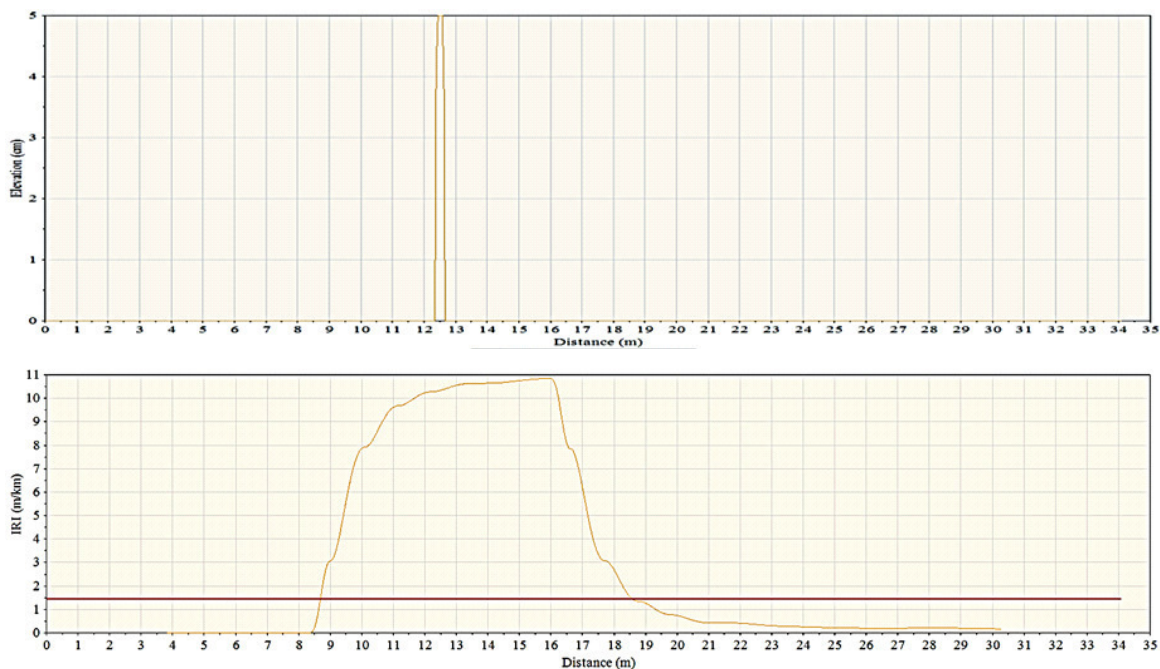


Рис. 5. Результат розрахунку рівності під час руху автомобіля крізь деформаційний шов у місці сполучення мостового полотна з насипом

Графік зміни рівності, тобто миттєві сумарні коливання підвіски розрахункового автомобіля під час руху вздовж заданого профілю демонструє, що коливання суттєво перевищують нормативні за показником без-

пеки, які встановлено від 3,5 до 4,0 м/км, залежно від країни.

Аналіз отриманого графіка доводить, що у разі наявності такого показника індексу рівності (IRI = 10,8 м/км) безпека руху значно

знижується: існує небезпека відриву колеса автомобіля внаслідок динамічного удару.

Можна зробити припущення, що внаслідок коливальних рухів та зворотньої реакції підвіски пропорційно міст сприймає такий же вплив, як і автомобіль.

### Висновки

Конструкція штучних споруд відрізняється від конструкції дороги, і нерівності на них за своїми параметрами також відрізняються від нерівностей на дорозі. Нерівності на проїзній частині мостів мають меншу довжину хвилі та більш різкий обрис форми, тому під час обстеження автомобільних доріг обов'язково потрібно виділяти штучні споруди окремо, а не покілометрово.

Необхідно далі здійснювати наукові дослідження щодо впливу форми і розмірів деформаційних швів та інших елементів штучних споруд на умови руху автомобілів і, відповідно, на споруди. Більш детальне визначення рівності на ділянках автомобільних доріг, що містять штучні споруди, дозволить вчасно виявляти дефекти дорожнього покриття споруд, які негативно впливають на комфортність руху, зокрема на споруду.

### Література

1. ДСТУ 8745:2017 Автомобільні дороги. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 36 с (*Держспоживстандарт України*).
2. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України [Чинний від 2009-07-04]. Вид. офіц. Київ, 2009. 181 с. (*Держспоживстандарт України*).
3. ДСТУ- Н В В.2.3-23:2012 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Чинний від 2013-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 27 с. (*Національний стандарт України*).
4. Смолянюк Р. В., Кіашко І. В. Розвиток й удосконалення сучасних технологій оцінки рівності дорожніх покриттів. *Автотранспорт України*. – К.: Держ. автотр. наук. досл. і проєктн. ін-т, 2007. – № 5. – С. 39–42.
5. Смолянюк Р. В., Смолянюк Н. В. Вплив рівності покриття штучних споруд на умови руху *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг»*. – Харків: ХНАДУ, 2016. С. 112–117.
6. Смолянюк Р. В. Сучасні пересувні лабораторії для оцінки споживчих властивостей автомобільних доріг. *Проектування, будівництво*

*та експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету*. – Харків: ХНАДУ. С. 138–146.

7. Sayers M. S. "Two Quarter-Car Models for Defining Road Roughness: IRI and HRI." *Transportation Research Record 1215*, 1989, pp. 165–172.
8. Ефанов А. В. Моделирование динамического взаимодействия системы «транспортное средство - деформационный шов автодорожного моста» *Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы III Всерос. конф.: в 3 т.* – Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2005. – Т. 1. – С. 78–82.
9. Miroslav Šimun, Mate Sršen Ravnost kolniških zastera na grajevinama cestovne infrastrukture. *GRACEVINAR*. 2007. No 59. P. 395–405.
10. Sayers M. W., Karamihas S. M. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998. – 306
11. ProVAL User's Guide. Austin: <http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-3.2-Users-Guide.pdf>

### References

1. DSTU 8745:2017 Avtomobil'ni dorohy. Metody vymiryuvannya nerivnostey osnovy i pokryttya dorozhn'oho odyahu. [Highways. Methods of measuring the unevenness of the base and the covering of roadwear]. [Chynnyy vid 2019-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2017. 36 s (*Derzhspozhyvstandart Ukrayiny*) [in Ukrainian].
2. P-H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontu ta utrymannya avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya Ukrayiny [Technical rules for repair and maintenance of public roads of Ukraine] [Chynnyy vid 2009-07-04]. Vyd. ofits. Kyiv, 2009. 181 s. (*Derzhspozhyvstandart Ukrayiny*) [in Ukrainian].
3. DSTU- N B V.2.3-23:2012 Sporudy transportu. Nastanova z otsynuvannya i prohozuvannya tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv [Transport-Tu structures. Guidance on the evaluation and prediction of the technical condition of road bridges] [Chynnyy vid 2013-12-01]. – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2013. – 27 s. (*Natsional'nyy standart Ukrayiny*) [in Ukrainian].
4. Smolyanyuk R. V., Kiyashko I. V. Rozvytok y udo-skonalennya suchasnykh tekhnolohiy otsinky rivno-sti dorozhnikh pokryttiv. [Development and improvement of modern technologies of estimation of equalsti pavements] *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny*. – K.: Derzh. avtotr. nauk. dosl. i proektn. in-t, 2007. – № 5. – S. 39–42 [in Ukrainian].
5. Smolyanyuk R. V., Smolyanyuk N. V. Vplyv rivnosti pokryttya shuchnykh sporud na umovy rukhu [Influence of the Equity of Covering Artifi-

- cial Structures on Traffic Conditions] *Materialy vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Suchasni tekhnolohiyi budivnytstva ta ekspluatatsiyi avtomobil'nykh dorih»*. – Kharkiv: KHNADU, 2016. S. 112–117 [in Ukrainian].
6. Smolyanyuk R. V. Suchasni peresuvni laboratoriyi dlya otsinky spozhyvchykh vlastyvostey avtomobi-l'nykh dorih. [Modern mobile laboratories for assessing the consumer properties of highways] *Proektuvannya, budivnytstvo ta ekspluatatsiya nezhorstkykh dorozhnykh odyahiv. Materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, yaka prysvyachena 80-richchyu KHNADU ta dorozhn'o-budivel'noho fakul'tetu.* – Kharkiv: KHNADU. S. 138–146 [in Ukrainian].
  7. Sayers M. S. "Two Quarter-Car Models for Defining Road Roughness: IRI and HRI." *Transportation Research Record* 1215, 1989, pp. 165–172.
  8. Yefanov A. V. Modelirovaniye dinamicheskogo vzaimodeystviya sistemy «transportnoye sredstvo - deformatsionnyy shov avtodorozhnogo mosta» [Modeling the dynamic interaction of the system “vehicle - expansion joint of the road bridge”] *Innovatsionnyye tekhnologii v obuchenii i proizvodstve: materialy III Vseros. konf.: v 3 t.* - Volgograd: Izd-vo VolgGTU, 2005. – Т. 1. – S. 78–82 [in Russian].
  9. Miroslav Šimun, Mate Sršen Roadway curtain equality on road infrastructure structures. *Gradevinar*. 2007. No 59. P. 395–405. [in Croatian].
  10. Sayers M. W., Karamihis S. M. *The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles.* Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998. – 306.
  11. ProVAL User's Guide. Austin: <http://www.roadprofile.com/download/ProVAL-3.2-Users-Guide.pdf>

**Смолянюк Роман Володимирович<sup>1</sup>**, к.т.н., доц. каф. будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля, e-mail: <mailto:rc@khadi.kharkov.ua>, тел. +380503237342

**Смолянюк Надія Володимирівна<sup>2</sup>**, к.т.н., доц. каф. мостів, конструкцій та будівельної механіки, e-mail: <mailto:kmksm@ukr.net>, тел. +380507472604,

**Старцев Валерій Анатолійович<sup>3</sup>**, аспірант каф. мостів, конструкцій та будівельної механіки, e-mail: [newbie\\_ez@outlook.com](mailto:newbie_ez@outlook.com), тел. +380958112643,

**Захарченко Максим Романович<sup>4</sup>**, студент каф. мостів, конструкцій та будівельної механіки, e-mail: [lordtigion@gmail.com](mailto:lordtigion@gmail.com), тел. +380954533592.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

## Моделирование влияния технологических неровностей мостового полотна на условия движения автомобиля

**Аннотация.** В статье представлены и проанализированы результаты проведенного моделирования влияния технологических неровностей мостового полотна в местах сопряжения с насыпью и в районе деформационных швов на условия движения автомобиля с помощью программного комплекса ProVAL.

**Ключевые слова:** искусственные сооружения, мостовое полотно, ровность, международный индекс ровности (IRI), деформационный шов.

**Смолянюк Роман Владимирович<sup>1</sup>**, к.т.н., доц. каф. строительства и эксплуатации автомобильных дорог им. О.К. Бируля, e-mail: <mailto:rc@khadi.kharkov.ua>, тел. +380503237342,

**Смолянюк Надежда Владимировна<sup>2</sup>**, к.т.н., доц. каф. мостов, конструкций и строительной механики, e-mail: <mailto:kmksm@ukr.net> тел. +380507472604,

**Старцев Валерий Анатольевич<sup>3</sup>**, аспирант каф. мостов, конструкций и строительной механики, e-mail: [newbie\\_ez@outlook.com](mailto:newbie_ez@outlook.com), тел. +380958112643,

**Захарченко Максим Романович<sup>4</sup>**, студент каф. мостов, конструкций и строительной механики, e-mail: [lordtigion@gmail.com](mailto:lordtigion@gmail.com), тел. +380954533592.

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

## Modeling the influence of technological inequalities on a bridge floor on traffic conditions

**Abstract. Problem.** Road pavement roughness is one of the most important indicators for road transport and operational status of roads. It depends on the convenience, safety and speed of cars, the dynamic impact of the car on the road and artificial structures, transport costs, and finally, the main indicators that determine the operation of road transport – the cost of transportation and productivity of transport. At present, there is a rather important problem in Ukraine related to estimation of this indicator: Measurement of the highway roughness is carried out by kilometer, while the roughness of the road surface of artificial structures is not evaluated separately. **Goal.** The aim is to investigate the influence of bridges inequalities at the junction of the bridge with the embankment and in the area of deformation joints on the conditions of traffic. It is necessary to develop a model of these inequalities with the help of modern software systems and analyze the results obtained to achieve this goal. **Methodology.** There are 4 classes of methods and techniques for assessing equality in international practice. In order to evaluate equality for our purposes, it would be more appropriate to apply first- and second-class techniques that allow the determination of the physical profile of the road and the localization of inequalities, in particular those occurring at the junc-

tion of the bridge with the embankment and in the area of deformation joints. Equality is assessed using a special program that simulates the movement of a "golden" car on a measured profile. This technique is fundamental in measuring the International Road Index (IRI). **Results.** The graph of the change of equality (or in other words the instantaneous total fluctuations of the suspension of the vehicle when driving on a given profile) shows, that fluctuations exceed safety norms significantly. The analysis of the obtained graph shows that the traffic safety is much reduced with such an index of equality, this leads to the risk of the car losing the wheel during the dynamic impact. **Originality** Based on the obtained results, we can assume that proportionally, due to the oscillatory motions and the feedback response of the suspension, the artificial structure perceives the same impact as the car. Further research should be conducted on the effect of the shape and size of deformation joints and other elements of artificial structures on the conditions of movement of cars and, accordingly, on structures. **Practical value.** The construction of artificial structures is different from the construction of the road, so it is imperative to separate the artificial structures for one kilometer when examining the roads. A more detailed definition of

equality in road sections containing artificial structures will allow detecting the defects in the pavement of structures that adversely affect both the comfort of traffic and the structure as a whole on time.

**Key words:** engineering structures, bridge floor, smoothness, IRI, expansion joint

**Smolyanyuk Roman V<sup>1</sup>,** Ph.D., associate professor department of road building and maintenance, e-mail: [rc@khadi.kharkov.ua](mailto:rc@khadi.kharkov.ua), tel. +380503237342,

**Smolyanyuk Nadiya V<sup>2</sup>,** Ph.D., associate professor department of bridges and structures and structural mechanics, e-mail: [kmksm@ukr.net](mailto:kmksm@ukr.net), tel. +380507472604,

**Startsev Valerii A<sup>3</sup>,** graduate student department of bridges and structures and structural mechanics, e-mail: [newbie\\_ez@outlook.com](mailto:newbie_ez@outlook.com), тел. +380958112643,

**Zakharchenko Maksim R<sup>4</sup>,** student department of bridges and structures and structural mechanics, e-mail: [lordtigion@gmail.com](mailto:lordtigion@gmail.com), тел. +380954533592.

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.