

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.143.14-046.32:624.19/.21

Г. М. ТАЛАВІРА^{1*}, А. В. КУДІН²

^{1*} Кафедра «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, вул. Миколи Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03194, тел. +38 044 59 15 111, ел. пошта talgen@yandex.ru

² Кафедра «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, вул. Миколи Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03194, тел. +38 044 59 15 111, ел. пошта detut@detut.edu.ua

ВІДВІД ЖОРСТКОСТІ ПІДШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ НА ДІЛЯНКАХ ПЕРЕД ШТУЧНИМИ СПОРУДАМИ

Мета. Створення конструкції колії на підходах до штучних споруд, що забезпечує плавну зміну жорсткості колії. **Методика.** Розглянута залежність між величиною осадження основної площадки і модулем деформації. Традиційно осадження основної площадки визначаються за методиками, які засновані на використанні методу Штейнбренера, який ще має назву «метод кутових крапок». Модуль деформації визначався із залежності з модулем пружності. Останній при цьому визначався практично. Проаналізувавши обидва методи можна дати однозначний висновок, що модуль деформації обернено пропорційний величині осаджень. Оскільки модуль пружності колії має залежність від модуля деформації ґрунту; то для досягнення поставленої мети можна змінити модуль деформації шляхом заміни частини ґрунту щебенем. **Результат.** Розрахунок необхідної зміни шару ґрунту є простим, досягається необхідна плавність зміни модуля пружності. **Наукова новизна.** Новий метод покращення взаємодії рухомого складу і колії на перехідних ділянках перед штучними спорудами. **Практична значимість.** Збільшення довговічності конструкції колії на перехідних ділянках перед штучними спорудами. Покращення динамічної взаємодії колесо-рейка, що в свою чергу покращує якість їзди і довговічність рухомого складу.

Ключові слова: осадження; модуль пружності; жорсткість колії; перехідні ділянки перед штучними спорудами

Вступ

В роботі представлено характер осаджень земляного полотна в перехідних зонах на підходах до штучних споруд, оцінюється їх вигляд. Приведена методика та розрахунки величини осідання верхніх шарів земляного полотна.

Мета

Метою даної роботи є створення конструкції колії на підходах до штучних споруд, що забезпечує плавну зміну жорсткості колії. Орієнтовно необхідно змінити розрахунковий модуль пружності колії з 45 МПа до 100 МПа досліджуючи залежність величини осаджень і модуля деформації.

Методика

Осадження основної площадки визначається за методиками, що базуються на застосуванні методу Штейнбренера більш відомого в літературі як «метод кутових крапок».

При цьому, стосовно до оцінки осаджень основної площадки прийняті наступні допущення:

- осадження визначаються під підлогою розрахункової шпали, вплив сусідніх шпал враховується при визначенні діючих тисків;
- осадження насипу визначається як сумарне осідання основної площадки насипу і основи в підрейковому перетині;
- навантаження на основну площадку приймається рівномірно розподіленим, прямокутного обрису (1), (рис. 1).

Розміри навантаження на рівні площадки визначаються з виразу (2):

$$\begin{cases} b_0 = b_{uu} + 2\sqrt{m^2 + h_0^2 \cdot ctg^2 \beta} - m \\ l_0 = l_{uu} + 2\sqrt{m^2 + h_0^2 \cdot ctg^2 \beta} - m \end{cases}, \quad (1)$$

де l_0 і b_0 – розміри смугового навантаження в напрямку поперек і уздовж колії; l_{uu} і b_{uu} – довжина і ширина шпали; β – кут нахилу до об-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

рію дотичної з гіперболічною утворюючою конуса поширення тиску в баластовому шарі, вихідної з вершини $\beta_n \approx 60^\circ$; m – параметр гіперболічної утворюючої конуса: $m=16$ см при твердій основі під баластовим шаром, $m=0$ – при основі зі звичайного ґрунту; h_6 – товщина баластового шару під шпалою.

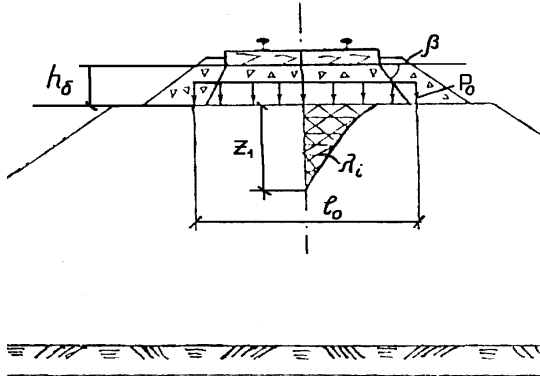


Рис. 1. Схема формування зони пружних осаджень

При основі під баластовим шаром із звичайного ґрунту

$$\begin{cases} b_0 = b_{ш} + 1,155h_6 \\ l_0 = l_{ш} + 1,155h_6 \end{cases} \quad (2)$$

Аналогічно розміри навантаження на основу насипу визначаються з наступних виразів

$$\begin{cases} b_{осн} = b_{ш} + 1,155H_H \\ l_{осн} = l_{ш} + 1,155H_H \end{cases}, \quad (3)$$

де H_H – висота насипу в розглянутому перетині.

Інтенсивність прямокутного смугового навантаження на основній площадці (P_0) приймається рівною максимальним напругам у перетині під шпалою, визначеним за правилами розрахунку колії на міцність (3). Інтенсивність прямокутного смугового навантаження на основу визначається як тиск від рухомого навантаження в перетині по осі колії на рівні основи з виразу

$$P_{осн} = -\frac{P_0}{\pi} \left\{ \begin{aligned} &2 \arctg \left(\frac{b_0}{2H_H} \right) + \\ &+ \sin \left[2 \arctg \left(\frac{b_0}{2H_H} \right) \right] \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Величину осадження основної площадки можна визначити з модифікованого виразу Штейнбренера $P_0 b_0 (1 - \mu^2)$:

$$\lambda_0 = \xi \frac{1}{E} (K_{Д-1} - K_{Д-2}); \quad (5)$$

$$K_{Д-i} = \frac{1}{\pi} \left[\begin{aligned} &In \left(\sqrt{m_i^2 + 1} + m_i \right) + \\ &+ m_i In \left(\frac{\sqrt{m_i^2 + 1} + 1}{m_i} \right) \end{aligned} \right]; \quad (6)$$

$$m_1 = \frac{120 - 1,155h_6}{b_0}; \quad (7)$$

$$m_2 = \frac{420 - 1,155h_6}{b_0}; \quad (8)$$

$$b_0 = b_{ш} + 1,155h_6. \quad (9)$$

де h_6 – товщина баласту під шпалою, см; E – модуль деформації ґрунту насипу, МПа; μ – коефіцієнт Пуассона.

Поправочний емпіричний коефіцієнт, що враховує погрішності від введення в розрахункову схему Штейнбренера таких допущень як облік максимальних напружень на рівні основної площадки по всій площі передачі тиску, динамічний характер передачі тиску і т. п.

Фактична величина цього поправочного коефіцієнта ξ визначена в (4), на підставі експериментальних даних (5). При цьому пружні деформації визначалися експериментально при проході тепловозів ТЭ3 і ТЭ7 зі швидкостями в діапазоні від 20 до 45 км/год на колії з піщаним і щебневим баластом високого насипу від 0,6 до 1,95 м із шаром торфу в основі потужністю від 2,0 до 3,1 м. Модулі деформацій відповідно приймалися (торфу $E_H = 40$ МПа) модулі пружності колії $U = 17 \dots 20$ МПа. Осадження основної площадки при цих характеристиках складає від 1,5 до 13,0 мм при середньому значенні $\lambda = 4,1$ мм. У результаті поправочний коефіцієнт ξ рекомендований рівним 0,036.

Значення пружного осадження підшпальної основи колії в загальному вигляді визначається виразом

$$\lambda = \frac{\alpha 2r \sigma_6 |1 + \mu^2|}{E_0}, \quad (10)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

де $\alpha = 1,33$ – коефіцієнт, що враховує форму навантаження підшпальної основи; $r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ – умовний радіус штапу при навантаженні основи напівшпалою з площею F ; μ_i – коефіцієнт Пуассона,

$$\mu = \sum_1^n \frac{\mu_i h_i}{H} \quad (11)$$

Рекомендується приймати $2r = 65$ см; $1 - \mu^2 = 0,87$.

При навантаженні $P_0 = 30$ тс; $\sigma_6 = 2,52$ кг/см² (для Р65).

$$\lambda = 75,21 \frac{\sigma_6}{E_0} \quad (12)$$

де E_0 – узагальнений модуль деформації.

Результати

Структура приведених виразів ідентична, розбіжність тільки в абсолютних величинах і повноті обліку супутніх факторів. Можна зробити однозначний висновок про те, що величина осаджень обернено пропорційна модулю деформації.

З огляду на те, що модуль пружності колії залежить від земляного полотна, знаходиться в прямій залежності від модуля деформації ґрунту розглянемо можливість зміни модуля деформації шляхом заміни частини ґрунту з модулем деформації E_c на щебін з модулем деформації $E_{ш}$ (МПа). У зв'язку з тим, що задача повинна вирішуватися конкретно для ліній з максимальною швидкістю – 200 км/год та прив'язуватися до конструкції колії, що може буде прийнята наступною: безстикова колія з рейками Р65 товщиною щебеню під шпалою $h_6 = 40$ см.

Як уже було показано раніше (4), формування пружних осаджень колії, у частині, що залежить від земляного полотна, відбувається тільки у верхній її частині, висотою обумовленою з виразу

$$Z_a = 29,34 h_6^{0,554} \quad (13)$$

де h_6 – товщина баласту під шпалою, см.

Стосовно, до зазначеної конструкції колії активна зона $Z_a = 227$ см (з урахуванням – h_6 активна зона буде складати від рівня підшови шпали $Z_a + h_6 = 267$ см).

Для збільшення модуля пружності колії з $U_1 = 45$ МПа до $U_2 = 100$ МПа пропонується збільшити товщину щебеню під шпалою до величини $(x_6 + h_6)$. Відповідно до рис. 2 і довідкових даних [3].

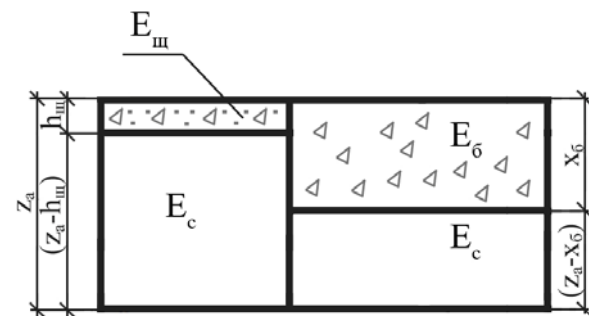


Рис. 2. Розрахункова схема перехідної ділянки із застосуванням щебеню

Величини модулів деформації $E_6 = 150$ МПа; $E_c = 30$ МПа; $E_{ш} = 100$ МПа (з урахуванням стирання і забруднення).

Введемо поняття коефіцієнта підвищення жорсткості колії

$$k = \frac{U_k}{U_H} \quad (14)$$

де U_k – поточне значення модуля пружності колії, МПа; U_H – модуль пружності для типової колії.

Тому що модуль деформації колії прямо пропорційний модулю деформації підрейкової основи в цілому, то можна записати

$$k = \frac{\sum_1^n E_{k-i} h_{k-i}}{\sum_1^m E_{H-i} h_{H-i}} \quad (15)$$

де E_{k-1} – модуль деформації (МПа) складових ґрунту при модулі деформації U_k ; h_{k-1} – складова товщина i -го шару, см.

Для обраної конфігурації колії при $U = U_H$ МПа (див. рис. 2).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$\sum_1^m E_{H-i} h_{H-i} = E_{ш} h_{ш} + E_c (Z_a - h_{ш}) \quad (16)$$

при $U = U_k$,

$$\sum_1^m E_{H-i} h_{H-i} = E_6 h_6 + (Z_a - x_6) E_c \quad (17)$$

З урахуванням поняття коефіцієнта підвищення жорсткості k отримано за наступним виразом

$$k = \frac{x_6 E_6 + (Z_a - x_6) E_c}{E_{ш} h_{ш} + E_c (Z_a - h_{ш})} = \frac{x_6 (E_6 - E_c) Z_a E_c}{E_c (Z_a - h_{ш}) + E_{ш} h_{ш}} \quad (18)$$

При відомому значенні k неважко визначити глибину заміни ґрунту щебенем x_6 .

$$x_6 = \frac{(k-1) Z_a E_c + k h_{ш} (E_{ш} - E_c)}{(E_6 - E_c)} \quad (19)$$

Приклад. Для заданої конструкції колії при $E_6 = 150$ МПа, $E_{ш} = 100$ МПа, $E_c = 30$ МПа визначити величину заміни ґрунту насипу щебенем при $k = 100/45 = 2,22$, $Z_a = 227$ см, $h_{ш} = 35$ см.

$$x_6 = \frac{(2,22-1)227 \cdot 30 + 2,22 \cdot 35(100-30)}{(150-30)} = 115$$

При $k = 70/45 = 1,56$; $Z_a = 227$ см, $h_{ш} = 35$ см.

$$x_6 = \frac{(1,56-1)227 \cdot 30 + 1,56 \cdot 35(100-30)}{(150-30)} = 64$$

Висновок

Проаналізувавши обидва методи можна дати однозначний висновок, що модуль деформації обернено пропорційний величині осаджень. Оскільки модуль пружності колії має залежність від модуля деформації ґрунту; то для досягнення поставленої мети можна змінити модуль деформації шляхом заміни частини ґрунту щебенем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериго, А. Г. Коган – Москва : Транспорт, 1986 – 559 с.
2. Даніленко, Е. І. Залізнична колія [Текст] : підручник для вищих навчальних закладів, в 2 т., Т. 2. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом / Е. І. Даніленко – Київ : Імпрес, 2010. – 556 с.
3. Шахунянц, Г. М. Земляное полотно железных дорог [Текст] / Г. М. Шахунянц. – Москва : Трансжелдориздат, 1953. – 828 с.
4. Шахунянц, Г. М. Учет динамических воздействий подвижного состава при расчете устойчивости откосов железнодорожных насыпей [Текст] / Г. М. Шахунянц, Т. Г. Яковлева // Вопросы пути и путевого хозяйства : сб. научн. трудов МИИТа. – Москва, 1973 – Вып. 443. – С. 98-166.
5. Способы усиления насыпей на участках с повышенными деформациями пути, расположенными на подходах к мостам [Текст] : отчет о НИР (Этап 1) / ВНИИЖТ ; рук. темы Яковлев Е. В. – 1993. – 08.03.83.93.94.95. (дог. № 1173/93).
6. Петренко, В. Д. Дослідження підвищення несучої здатності земляного полотна для швидкісного руху потягів [Текст] / В. Д. Петренко, В. П. Купрій, М. А. Лісневський, А. М. М. Алхдур // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 2. – С. 45-49.
7. Петренко, В. І. Вирішення задачі рухомого навантаження в динамічній постановці [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013 – Вип. 4. – С. 67-74.
8. Яковлева, Т. Г. Деформируемость торфяных оснований железнодорожных насыпей [Текст] / Т. Г. Яковлева // Вопросы пути и путевого хозяйства : сб. научн. трудов МИИТа. – Москва, 1970 – Вып. 326 – С. 37-49.
9. Costaa P. A., Calçadaa R., Cardosoa A. S., Bodareb A. Influence of soil non-linearity on the dynamic response of high-speed railway tracks. Soil Dynamics and Earthquake Engineering – Scientific journal, vol. 30, issue 4, 2010, pp. 221–235.
10. ДБН В.2.3-19:2008 Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування [Текст]. – Надано чинності 2008-01-26. – Київ : Мінірегіонбуд України, 2009. – 126 с.
11. ЦП-0269 Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст]. – Надано чинності 2012-05-01. – Київ : 2012 – 456 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

12. UIC Guidance on the Conventional Rail and High Speed Infrastructure Technical Specifications for Interoperability, 2013. 69 p.
13. UIC Rail technical strategy Europe, 2014. 20p.
14. Виноградов, В. В. Прогнозирование и обеспечение надёжной работы железнодорожных насыпей [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : защищена 1990 / Виноградов В. В. – 1990. – 393 с.

Г. М. ТАЛАВИРА^{1*}, А. В. КУДИН²

^{1*} Кафедра «Строительные конструкции и сооружения», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Николая Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03194, тел. 044 59 15 111, эл. почта talgen@yandex.ru

² Кафедра «Строительные конструкции и сооружения», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Николая Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03194, тел. 044 59 15 111, эл. почта detut@detut.edu.ua

ОТВОД ЖЕСТКОСТИ ПОДШПАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ ПЕРЕД ИСКУССТВЕННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Цель. Создание конструкции пути на подходах к искусственным сооружениям, что обеспечивает плавное изменение жесткости пути. **Методика.** Рассматриваем зависимость между величиной осадки основной площадки и модулем деформации. Традиционно осадки основной площадки определяются по методикам, которые основаны на использовании метода Штейнбренера, который еще называется «метод угловых точек». Модуль деформации определялись с зависимости от модуля упругости. Последние при этом определялись практически. Проанализировав оба метода можно дать однозначный вывод, что модуль деформации обратно пропорционален величине осадки. Поскольку модуль упругости пути имеет зависимость от модуля деформации грунта; то для достижения поставленной цели можно менять модуль деформации путем замены части почвы щебнем. **Результаты.** Расчет необходимого изменения слоя почвы является простым, достигается необходимая плавность изменения модуля упругости. **Научная новизна.** Новый метод улучшения работы подвижного состава и пути на переходных участках пути перед штучными сооружениями. **Практическая значимость.** Увеличение долговечности конструкции пути переходных участках пути перед штучными сооружениями. Улучшение динамического взаимодействия колесо-рельс, что в свою очередь улучшает качество езды и долговечность подвижного состава.

Ключевые слова: осадка; модуль упругости; твердость пути; переходные участки перед искусственными сооружениями

Н. М. TALAVIRA^{1*}, А. В. KUDIN²

^{1*} Head of Department of Building structures and buildings, State Economic and Technological University of Transport, 19, Nikolai Lukashevich str., Kyiv, Ukraine, 03194, tel: 044 59 15 111, e-mail talgen@yandex.ru

² Postgraduate of Department of Building structures and buildings. State Economic and Technological University of Transport, 19, Nikolai Lukashevich str., Kyiv, Ukraine, 03194, tel: 044 59 15 111, e-mail detut@detut.edu.ua

DRAIN BASE RIGIDITY SLEEPER UPSTREAM OF ARTIFICIAL STRUCTURES

Purpose. Creating construction lines on the approaches to artificial structures, ensuring a smooth change of hardness gauge. **Methodology.** We consider the relationship between the size of the deposition area and the main module of deformation. Traditionally, the main precipitation area defined by methods that are based on the use of the method Shteynbrenera which is entitled «Method corner points». Module deformation determined from the dependence of modulus of elasticity. Latest thus determined practically. After analyzing both methods can give a clear conclusion that the module is inversely proportional to the deformation of sediment. Since the modulus of elasticity is dependent on the track deformation modulus of soil; then to achieve this goal can change the module deformation by replacing part of the soil crushed stone. **Findings.** Calculating the change of soil is simple, achieved the necessary smooth change of modulus of elasticity. **Originality.** A new method to improve the interaction of rolling stock and tracks in transition areas before the artificial structures. **Practical value.** Increased durability of structures built in the transitional areas to the artificial structures. Improved dynamic wheel-rail interaction, which in turn improves ride quality and durability of rolling stock.

Keywords: precipitation; modulus of elasticity; hardness way; transition areas before the artificial structures

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

REFERENCES

1. Verigo M. F. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [The interaction track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
2. Danilenko E. I. *Zaliznychna koliia* [Railway]. Kyiv Publ., 2010. 556 p.
3. Shakhunyan G. M. *Zemlyanoe polотно zheleznykh dorog* [Roadbed of railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1953. 828 p.
4. Shakhunyan G. M. Uchet dinamicheskikh vozdeystviy podvizhnogo sostava pri raschete ustoychivosti otkosov zheleznodorozhnykh nasypey [Accounting for the dynamic effects of the rolling stock when calculating the stability of slopes railway embankments]. *Sbornik nauchnykh trudov Moskovskogo instituta inzhenerov transporta «Voprosy puti i putevogo khazyaystva»* [Proc. of Moscow State University of Railway Engineering "Questions the way and traveling facilities"]. Moscow, 1973, issue 443, pp. 98-166.
5. Yakovlev Ye. V *Sposoby usileniya nasypey na uchastkakh s povyshennymi deformatsiyami puti, raspolozhennymi na podkhodakh k mostam* [Ways to strengthen embankments in areas with high deformation path located on the approaches to the bridges]. Moscow, All-Russian Research Institute of Railway Transport Publ., 1993.
6. Petrenko V. D., Kuprii V. P., Lisnevskiy M. Alkhdur A., A. M. M. Doslidzhennia pidvyshchennia nesuchoi zdatnosti zemlianoho polotna dlia shvydkisnoho rukhu potiahiv [Research improving subgrade bearing capacity for high-speed trains]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"]. Dnipropetrovsk, 2012, issue 2, pp. 45-49.
7. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tiutkin O. L. Vyrishennia zadachi rukhomoho navantazhennia v dynamichnii postanovtsi [Solving the problem of rolling loads in a dynamic setting] *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana "Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka"* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan "Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice"]. Dnipropetrovsk, 2013, issue 4, pp. 67-74.
8. Yakovleva T. G. Deformiruemost torfyanykh osnovaniy zheleznodorozhnykh nasypey [The deformability of the peat grounds railway embankments]. *Sbornik nauchnykh trudov Moskovskogo instituta inzhenerov transporta «Voprosy puti i putevogo khazyaystva»* [Proc. of Moscow State University of Railway Engineering "Questions the way and traveling facilities"]. Moscow, 1970, issue 326, pp.37-49.
9. Costaa P. A., Calçada R., Cardoso A. S., Bodareb A. Influence of soil non-linearity on the dynamic response of high-speed railway tracks. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering – Scientific journal*, 2010, vol. 30, issue 4, pp. 221–235.
10. *DBN V.2.3-19-2008. Sporudy transportu. Zaliznyci kolii 1520 mm. Normy proektuvannya* [State Standard V.2.3-19-2008. Transport constructions. Railway track 1520 mm. Design standards]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 126 p.
11. *CP-0269 Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy* [CB-0269 Instructions for ordering and keeping track of railways Ukraine]. Kyiv Publ., 2012. 456 p.
12. *UIC Guidance on the Conventional Rail and High Speed Infrastructure Technical Specifications for Interoperability*, 2013. 69 p.
13. UIC Rail technical strategy Europe, 2014. 20p.
14. Vinogradov V. V. *Prognozirovanie i obespechenie nadezhnoy raboty zheleznodorozhnykh nasypey*. Dokt. Diss. [Forecasting and ensure reliable operation of railway embankments]. Moscow Publ., 1990. 393 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. В. Бабіюком (Україна), д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна).

Надійшла до редколегії 15.09.2016.

Прийнята до друку 28.09.2016.