УДК 624.21 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.71056

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛИТ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА І ПРОКЛАДНОГО ШАРУ ПІД НИМИ

Д-р техн. наук А.А. Плугін, канд. техн. наук С.В. Мірошніченко,
канд. техн. наук О.В. Лобяк, інж. О.А. Забіяка,
канд. техн. наук Г.О. Линник, ген. директор АТ «Tines» Т. Шуба (Польща)

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА И ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ ПОД НИМИ

Д-р техн. наук А.А. Плугин, канд. техн. наук С.В. Мирошниченко,
канд. техн. наук А.В. Лобяк, инж. А.А. Забияка,
канд. техн. наук Г.О. Линник, ген. директор АО «Tines» Т. Шуба (Польша)

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE PLATES BALLASTLESS BRIDGE AND CUSHIONING LAYER UNDERNEATH

Doct. of techn. sciences A.A. Plugin, of techn. sciences S.V. Miroshnichenko,
cand. of techn. sciences O.V. Lobiak, engineer O.A. Zabiyaka,
cand. of techn. sciences G.O. Linnik, general director of TINES S. A. T. Szuba

Проведено аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового і прокладного шару під ними з урахуванням різного модуля пружності прокладного шару, а також різного зусилля натяжіння високоміцних шпильок.

Ключові слова: *напружено-деформований стан, плита безбаластного мостового полотна, зусилля натягу, прокладний шар.*

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния плит безбаластного мостового и прокладного слоя под ними с учетом различного модуля упругости прокладного слоя, а также различного усилия натяжения высокопрочных шпилек.

Ключевые слова*: напряженно-деформированное состояние, плита безбалластного мостового полотна, усилие натяжения, прокладной слой.*

The analysis of the stress-strain state of the plates besplatnogo bridge and are cool layer below them, taking into account various modulus are cool layer, and tension force of high-strength bolts. In the result of the research were established based and the conclusions were made about the effects of the tension rods and stiffness are cool layer on stress and deformation of plates. While it is difficult to say concrete value, because these factors have different impacts on different areas of the plate and are cool layer.

The maximum value of voltage changes exceed the values of tensile strength, so you should expect their influence on the formation of cracks and durability. Tension stud appropriate to do with the power not exceeding 10 tons of power. The use of hard are cool layer appropriate at reduction of the tension stud less than 10 tons of power.

Key words*: stress-strain state, stove ballastless bridge deck, the tension force, are cool layer.*

Вступ. Сполучення між залізобетонними плитами безбаластного мостового полотна і головними або поздовжніми балками металевих мостів виконується у вигляді суцільного прокладного шару по всій довжині балок або на дискретних опорах, які влаштовуються по осі верхнього поясу балки під кожною підрейковою основою плити. Як суцільний прокладний шар можуть використовуватися: армований цементно-піщаний розчин або дрібнозернистий бетон, безусадкова швидкотвердіюча бетонна суміш наливного типу з гумовою підкладкою, антисептовані дошки або фанера з гумовими смугами і т.п.

Дискретне обпирання може бути виконано з використанням металевих обойм, заповнених дрібнозернистим бетоном.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. В теперішній час на залізницях України експлуатується суцільний прокладний шар таких видів:

- з двошарових прокладок, де верхній шар – гума товщиною 8÷10 мм, а нижній – дерев'яні дошки (соснові шириною 20÷24 см або з твердих порід – не менше 10 см);
- з прокладок з гуми або гумокорду (транспортерної стрічки) товщиною до 10 мм;
- з армованого цементно-піщаного розчину або полімерцементного розчину;
- з двошарових прокладок, де верхній шар – гума (транспортерна стрічка) шириною 16÷25 см товщиною 8÷10 мм, а нижній – полімеркомпозиційний шар.

Аналіз досвіду експлуатації гумо-дерев'яного і гумового прокладних шарів [1-5] показав їх переваги і недоліки:

- зменшення жорсткості колії і подовження терміну служби її окремих елементів;
- складність забезпечення обпирання плити на балку без порожнеч;
- недовгий термін експлуатації через швидку втрату деревиною властивостей;
- нерівномірну втрату зусилля натягу шпильок, яка призводить до виникнення в плиті дефектів;
- недостатній захист металевої поздовжньої балки прогонової будови від корозії і електрокорозії і навіть їх посилення за рахунок скупчування води під деревиною.

Аналіз досвіду експлуатації цементно-піщаного прокладного шару з 1970–80-х рр. показав, що він забезпечує добрий контакт між плитою та балкою і захищає її від корозії. При товщині понад 4-5 см прокладний шар зберігся у доброму стані, у плитах тріщини і дефекти не спостерігаються, при товщині 2–3 см він, як правило, пошкоджений внаслідок неповного заповнення порожнечі і недостатньої міцності розчину через досягнення потрібної текучості за рахунок підвищення вмісту води (без пластифікаторів).

10-річний досвід експлуатації розробленого і виконаного УкрДАЗТ за заливною технологією полімеркомпозиційного прокладного шару на мосту поблизу ст. Новожанове дільниці Основа – Харків-пас. Південної залізниці, показав його високі якість і довговічність. Склад містить епоксидну смолу ЕД-20 або її аналоги, кам'яновугільну смолу, наповнювач – портландцемент, пластифікатор – дібутилфталат, високоактивний амінний отверджувач УП-583Д. Проте незручність його приготування і заливання у польових умовах досі стримує його застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті аналізу літературних джерел [5-9] останніх років встановлено, що жорсткість прокладного шару має вплив не тільки на конструкції верхньої будови колії, а й на конструкції балок. Мінімальні напруження спостерігаються для прокладного шару із бетону або розчину, отже доцільно дослідити жорсткий способу прикріплення плит до балки.

Визначення мети та задачі дослідження. Як жорсткий прокладний шар, виконуваний за заливною технологією, доцільно використовувати полімеркомпозиційний або бетонний (розчиновий) прокладний шар, у т.ч. із готових до застосування сухих будівельних сумішей Емасо і т.п. Його розтікання повинне складати не менше 25 см за віскозіметром Сутарда, міцність на стиск через 1 добу – не менше 20 МПа, проектна – не менше 40 МПа.

Для виявлення доцільності використання жорсткого прокладного шару було виконано аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового і прокладного шару під ними шляхом розрахункового експерименту методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу Ліра 9.6 [10] у просторовій постановці.

Основна частина дослідження. У завдання розрахунку входить визначення напружено-деформованого стану плити зі змінними параметрами обпирання й натягу шпильок для кріплення плити до балок прогонової будови. Як прокладний шар прий-мали сосну з модулем пружності E_0=10000 МПа, бетон класу С35/40 з модулем пружності E_0=35000 МПа і полімерний композит з модулем пружності E_0=2000 МПа. З кожним прокладним шаром у розрахунках сполучалися три сили натягу високоміцних шпильок: 5, 10 і 13 т.

Розрахункова схема (рис. 1) складена із сукупності фізично нелінійних ізопараметричних об'ємних скінчених

елементів (КЕ№234, КЕ№236). Ця група скінчених елементів призначена для розрахунків на міцність масивних просторових конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу. Загальна кількість вузлів розрахункової схеми склала 45126, елементів – 38992.

По висоті плиту розбивали на 9 шарів (рис. 1). Робочу арматуру розташовували в другому й сьомому шарах, наведених на рисунку. Насиченість шарів арматурою визначали осьовими відсотками армування.

Жорсткістні характеристики складені з урахуванням нелінійних діаграм деформування бетону й сталі, класу бетону, початкового модуля пружності, граничного значення напруги при стиску й розтяганні (рис. 2).

Прокладний шар також моделювався за допомогою КЕ №234 і КЕ №236. Контактна взаємодія між прокладним шаром і плитою не розкривалася внаслідок початкового повного контакту й роботи прокладного шару на всіх етапах навантаження тільки на стиск. Зусилля натягу плити моделювалося навантаженням пластини кріплення шпильки (рис. 3). При цьому шпилька фізично не моделювалася, а пластина кріплення встановлювалася в найбільш невигідне положення. Передбачалося, що прокладний шар опирається на абсолютно жорстку основу.

Навантаження плити здійснювали стадіями. На першій стадії враховувалася власна вага конструкції й зусилля натягу шпильок кріплення плити до балок прогонової будови. На другій стадії прикладалося тимчасове навантаження від однієї осі рухомого складу з тиском 25 т. На кожній стадії навантаження прикладалося кроками по 20 % від свого повного значення. Розрахунки виконувались шагово-ітераційним методом. Для досягнення достатньої збіжності ітераційного процесу кількість ітерацій на кожному кроці приймали не менше 300.

Результати розрахунків представлені у вигляді: ізополів еквівалентних напруг у плиті Ns (головні стискаючі напруги N3) і Ne (головні розтягувальні напруги N1); ізополів еквівалентних стискаючих напруг Ns у прокладному шарі; ізополів вертикальних деформацій у плиті.

За результатами розрахунків виявлено залежності напруг та деформацій в плиті та прокладному шарі від деформативності прокладного шару та сили затягування шпильки (рис. 4–5).

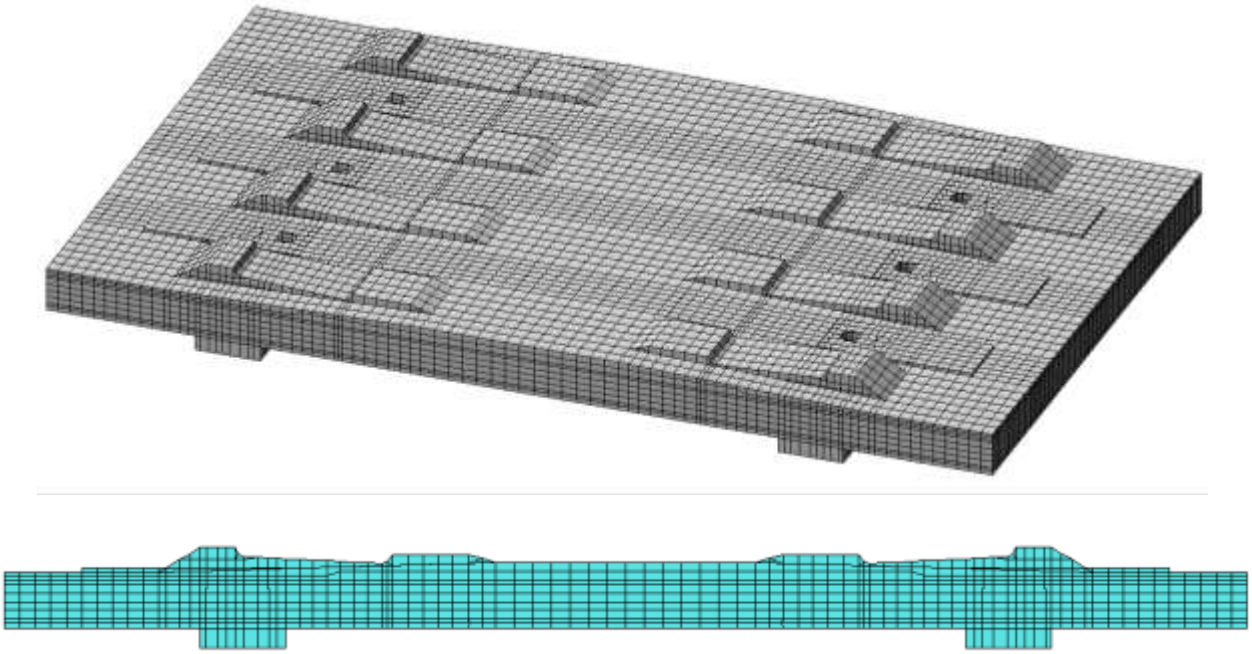
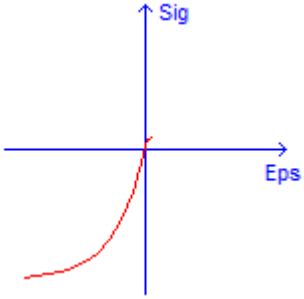


Рис. 1. Розрахункова схема плити БМП і прокладного шару

а)

Параметры	Значения
Класс бетона	B30
Тип бетона	TA
Eo	32460.01
σ(−)	21.9669
σ(+)	1.804424



б)

Параметры	Значения
Eo(-)	210000
Eo(+)	210000
σ(−)	-250
σ(+)	250
ε(−)	-0.001
ε(+)	0.001

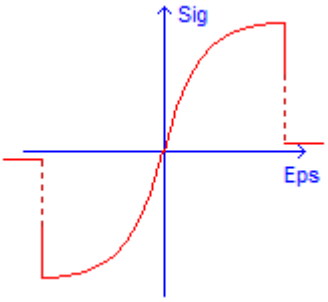


Рис. 2. Жорсткістні характеристики бетону (а) і стали (б)

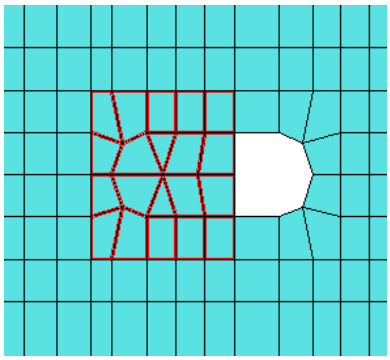
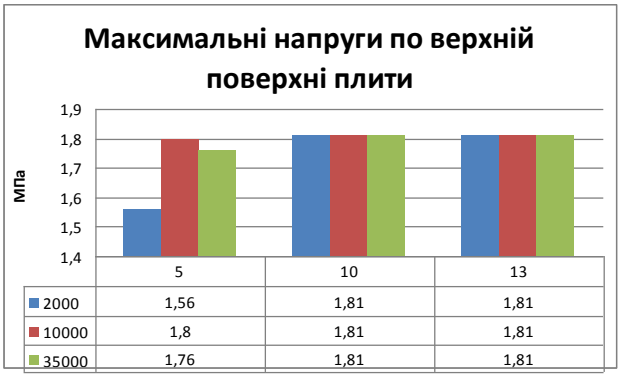


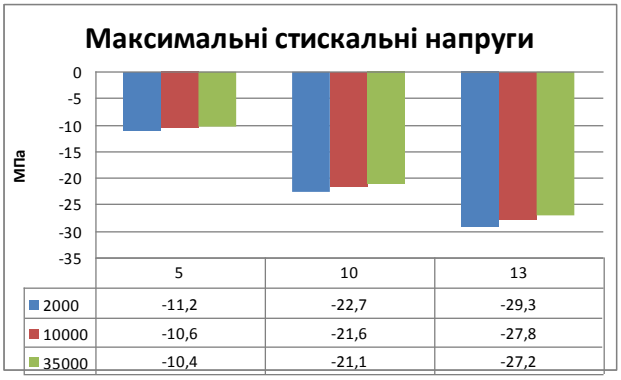
Рис. 3. Схема в області передачі навантаження від натягу шпильки

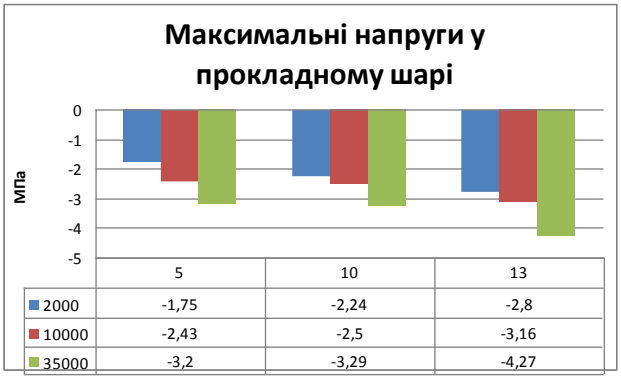
Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В результаті аналізу напружено-деформованого стану плити безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ним встановлено таке:

1) при зміні сили натягу високоміцної шпильки від 5 до 13 тс і модуля пружності від 2000 МПа до 35000 МПа величина напруг та деформацій змінюється та досягає критичних величин (напруження досягають величини міцності):

- на верхній грані плити при силі натягу шпильок 10−13 тс величини розтягувальних напружень досягають 1,8 МПа, що дорівнює міцності бетону на розтяг;
- максимальні напруження на нижній грані плити досягають критичних величин тільки з використанням податливого прокладного шару та при величині натягу шпильки 10−13 тс;
- максимальні стискувальні напруження досягають величин, близьких до міцності бетону на стиск при силі затягування шпильки 13 тс, матеріал прокладного шару на стискувальні напруги практично не впливає;
- напруження у прокладному шарі залежать в більшому ступені від матеріалу прокладного шару, ніж від сили затягування шпильки; напруження зростають зі збільшенням модуля деформації;
- максимальні прогини у плиті більші при прокладному шарі з меншим модулем деформацій, проте вони незначні (не перевищують 1/12000 довжини прогону);







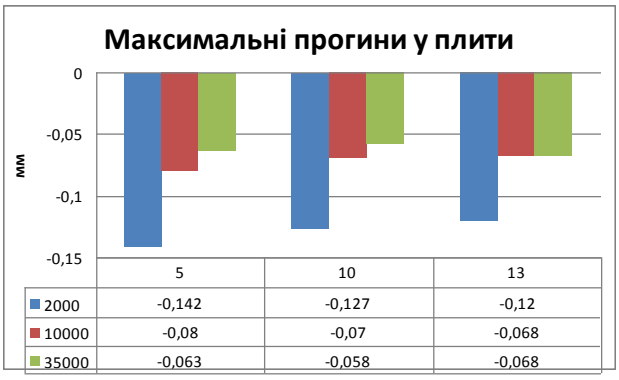


Рис. 4. Максимальні величини напруг і деформацій, які виникають в плиті БМП в залежності від модуля деформації (пружності) прокладного шару та сили затягування шпильок

2) напруження у плиті й прокладному шарі наявні як без поїзного навантаження, так і при прикладенні поїзного навантаження, при цьому відзначаються зміни величин напружень аж до зміни їх знаку:

- зміна напружень на верхній грані плити максимальна при використанні жорсткого прокладного шару з більшим модулем пружності;

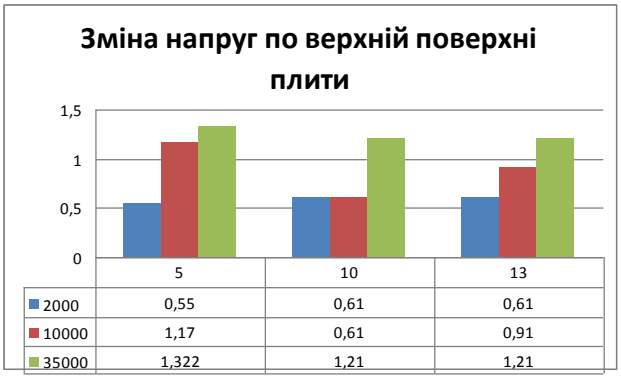
- зміна напружень на нижній грані плити максимальна при використанні менш жорсткого прокладного шару з невеликим модулем пружності, проте їх величина не перевищує зміну напружень на верхній грані плити;

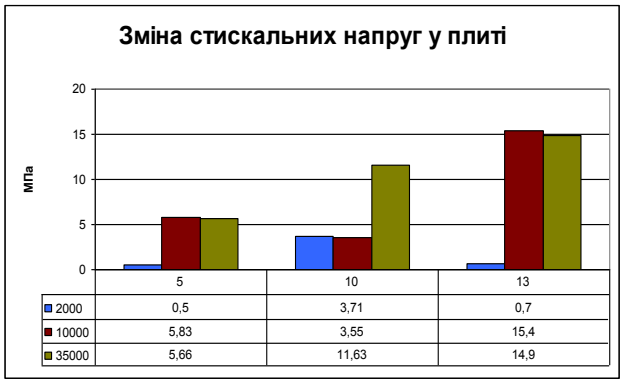
- зміна стискувальних напружень у плиті незначна;

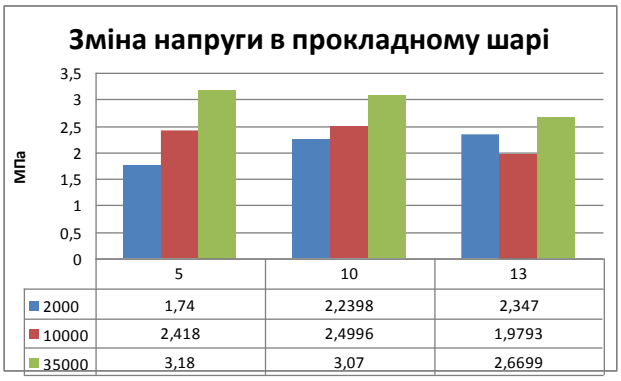
- зміна напружень у прокладному шарі досягає 3 МПа, при цьому модуль деформації матеріалу має більш суттєвий вплив на зміну напружень, ніж сила затягування шпильки,

- зміна прогинів у плиті незначна, як і максимальні показники прогинів.

3) максимальні величини зміни напружень, особливо у прокладному шарі, перевищують величини міцності на розтяг, тому слід очікувати їх впливу на утворення тріщин і довговічність конструкцій безбаластного мостового полотна; це обумовлює доцільність проведення крім розрахункового експерименту динамічних випробувань прокладного шару у масштабних моделях;







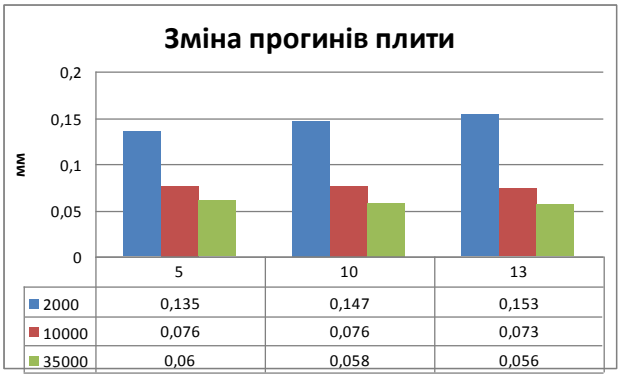


Рис. 5. Залежність зміни (різниці між навантаженим і навантаженим станом) напруг і деформацій у плиті БМП і прокладному шарі при навантаженні поїзним навантаженням та без нього в залежності від сили натягу високоміцних шпильок та деформативності прокладного шару

4) натягування шпильки доцільно здійснювати із силою, що не перевищує 10 тс;

5) використання жорсткого прокладного шару доцільно при зменшенні сили натягування шпильки менше 10 тс;

6) використання нежорсткого прокладного шару з низьким модулем пружності дозволяє зменшити величини напружень та їх зміни у плиті, але збільшити прогини плити, проте, прогини у будь-якому випадку незначні.

Список використаних джерел

1. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113-119.

2. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирошниченко, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип.72. – С. 457-464.

3. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів [Текст] / А.А. Плугін, С.В. Мірошніченко, О.А. Забіяка, Г.О. Линник, А.І. Бабенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 120-130.

4. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113-119.

5. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирошниченко, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 457-464.

6. ЦП 0137 Інструкція з укладання та експлуатації безбаластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2006.

7. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2010.

8. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов [Текст]. – СПб., 2005.

9. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту (УкрДАЗТ). Тел./факс (057) 771 46 91. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 64. E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Лобяк Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Забіяка Олександр Анатолійович, інженер, заступник начальника центру діагностування інженерних споруд Головного управління колійного господарства, Державна адміністрація залізничного транспорту України (Укрзалізниця). Тел.: (044) 465 25 77. E-mail: zabiyaka@uz.gov.ua.

Линник Георгій Олегович, канд. техн. наук, начальник управління інженерних споруд Головного управління колійного господарства, Укрзалізниця. Тел.: (044) 465-03-54. E-mail: cpi@lotus.uz.gov.ua.

Томаш Шуба, генеральний директор АТ «Tines», Królowej Jadwigi 192, 30-212 Kraków, Польща. Тел:+48 12 296-09-50. E-mail: biuro@tines.pl.

Plugin Andrii, doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); Tel./fax (+38 057) 771 46 91, Tel. (+38 057) 730 10 63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergii, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64. E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Lobiak Oleksii, cand. of techn. sciences, docent of structural mechanics and hydraulics department, UkrSART. Tel.: (057) 730 10 70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Zabiyaka Oleksandr, engineer, deputy head of centre for diagnosing engineering structures of the Main directorate of track facilities, State Administration of Railway Transport of Ukraine. Tel.: (+38 044) 465 25 77. E-mail: zabiyaka@uz.gov.ua.

Linnik Georgii, cand. of techn. sciences, Head of the directorate of engineering structures of Main directorate of track facilities, State Administration of Railway Transport of Ukraine. Tel.: (+38 044) 465 03 54. E-mail: cpi@lotus.uz.gov.ua.

Tomasz Szuba General Director of TINES S. A., ul. Królowej Jadwigi 192, Kraków 30-212. Tel.+48 12 362 94 00. E-mail: biuro@tines.pl.