

## ДИНАМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ В ОБЛАСТТА НА ПРЕХОДА МЕЖДУ МОСТ И НАСИП ПО ЖЕЛЕЗНИЯ ПЪТ

Коста Костов, Иван Цупарски

[Kpetrov77@abv.bg](mailto:Kpetrov77@abv.bg)

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,  
София, ул. „Гео Милев“ № 158,  
БЪЛГАРИЯ

**Резюме:** Мостовите конструкции като цяло са подложени на значителни динамични товари. Това са въздействия, които се изменят бързо във времето по местоположение, големина, направление или посока особено в преходните области при връзката им с земно-насипното тяло. Те предизвикват значителни ускорения и инерционни сили, за които трябва да се държи сметка още при проектирането.

Според особеностите им динамичните товари могат да бъдат разделени на следните групи: подвижни, сеизмични, ветрови, неподвижни периодични, кратковременни /импулсни/, неподвижни ударни и др. За мостовите конструкции най – голямо значение имат първите три групи товари.

При мостовите конструкции често се получават кратни или близки собствени честоти, на които обаче съответстват различни собствени форми на трептене. Поради това един и същи динамичен, включително и сеизмичен товар може да възбуди няколко собствени форми, при които трептенията взаимно се наслаждат. Това причинява биения. С цел определяне на най-неблагоприятното направление за различните усилия, трябва да се изследват поотделно за редица направления.

В настоящия доклад са изследвани влиянието на динамичното натоварване от подвижен жп състав, като частично имитиращо сеизмични въздействия, които застрашават надеждността на преходните области при връзката между мостовете и земно-насипното тяло, като основа на железопътните линии. Във връзка с подобряване устойчивостта на конструкциите на съоръженията от железопътната инфраструктура при повишаващото се динамично натоварване е проведено измерване на виброускорение и вибропреместване от преминаващия подвижен железопътен състав в преходната област при връзката между стоманобетонен мост и земно-насипното тяло зад устоя.

**Ключови думи:** Мостова конструкция, земно-насипно тяло, железопътните линии, виброускорение, вибропреместване.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Голяма част от мостовите конструкции при транспортните съоръжения са подложени на значителни динамични товари. Това са въздействия, които се изменят бързо във времето по местоположение, големина, направление или посока. Те предизвикват значителни ускорения и инерционни сили, за които трябва да се държи сметка още при проектирането.

Според особеностите им динамичните товари могат да бъдат разделени на следните групи: подвижни, сеизмични, ветрови, неподвижни периодични, кратковременни /импулсни/, неподвижни ударни и др. За мостовите конструкции най – голямо значение имат първите три групи товари.

Изборът на конструкцията за железен път за всяко едно конкретно мостово съоръжение се изпълняват от съставени от специфични елементи части – бетонова, асфалтобетонна основа, специално разработени панели, подложки с анкери, траверси и др.

Изборът на конкретен вид конструкция е резултат от задълбочено проучване, което отчита специфичните изисквания за скорост и натоварване, както и всички характеристики и възможностите за изпълнение. Не на последно място да отговаря на техникo – икономическите критерии. Обосновката трябва да доказва ефективността и надеждността на възприетото

решение. Ясно да показва целесъобразността за прилагане на изпълнената конструкция на мостовото съоръжение вместо класически баластов път.

Целта на настоящия доклад е да изследва влиянието на динамичното натоварване от подвижен жп състав, които застрашават надеждността на преходните области при връзката между мостовете и земно-насипното тяло, образуващи пластични деформации в основата на железопътните линии.

Необходима е сигурна връзка в прехода между твърда монолитна основа при мостови съоръжения и железен път с баластова призма.

В настоящия доклад е проучено експерименталното възбуждане на вибрациите /трептенията/ от преминаващия подвижен железопътен товар върху преходната област при връзката между мостовата конструкция и земно-насипното тяло зад крайните мостови опори.

## **2. КОНСТРУКТИВНИ ОСОБЕНОСТИ В ПРЕХОДА МЕЖДУ БЕЗБАЛАСТОВА КОНСТРУКЦИЯ ЖЕЛЕЗЕН ПЪТ И ИЗКУСТВЕНИ СЪОРЪЖЕНИЯ - МОСТОВЕ И ТУНЕЛИ**

Основната цел на изследването на настоящия доклад е да се анализира въздействието на динамичните сили оказващи влияние на надеждността в преходните области при връзката между мостовете и земно-насипното тяло зад устоя, като основа на железопътните линии или автомобилните пътища.

### **2.1. Преход от безбаластов релсов път към баластов път**

При преминаване от безбаластов релсов път към баластов е необходимо да се проектира преход за плавно преминаване между конструкции с различна коравина. Основните принципи при разработване на този преход са:

- поставяне на контрарелси (обикновено 20 m);
- съгъстяване на траверсите в зоната на баластовия път непосредствено до прехода с баластовия път; използване на специфични скрепителни елементи;
- за намаляване на слягането баластът трябва да се стабилизира със свързващи вещества;
- постепенно усилване на основата на определено разстояние в баластовия път чрез циментиран пласт;
- уширяване на леглото на безбаластовия железен път до това на баластовото легло. Този преход трябва да бъде по – голям от 10 m;
- изпълнение на греда – анкер от обикновен стоманобетон за осигуряване на хлъзгането.

### **2.2. Преходи при различна основа на безбаластовия път**

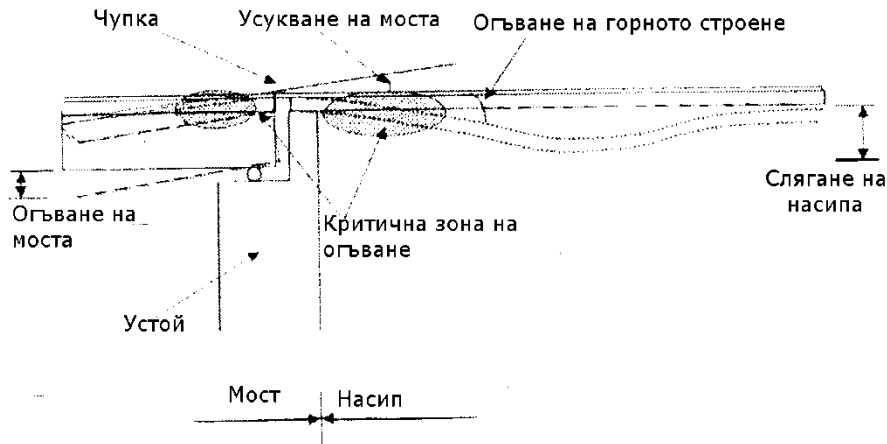
При преминаване на безбаластовия път през основа с различна коравина, се проектират преходи. Необходимо е да се изпълни плавно преминаване в следните случаи:

- от безбаластов път на земна основа към безбаластов път в тунел;
- от безбаластов път на земна основа към безбаластов път върху мостово съоръжение.

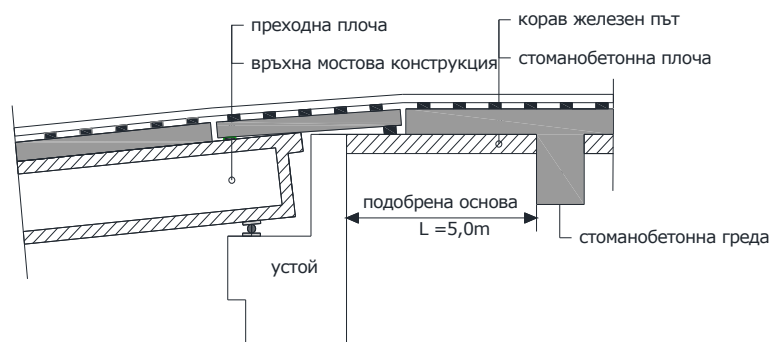
Преходът от безбаластов път на земна основа към безбаластов път върху мостово съоръжение става чрез преходни плочи и подобрена основа на безбаластовия път в зоната до задния ръб на устоя (ръба на устоя, който е в допир с почвата).

Конструкцията на горното строене на железния път върху мостове трябва да бъде еднаква с тази на прилежащите междугария. Това е от особено значение при изпълнение на безбаластови конструкции за горното строене на железния път, която заедно с връхната мостова конструкция трябва да образуват единна система.

За безопасността при движение на влаковете, съществено влияние оказва преходните участъци към мостовете. При преминаване на железния път от конструкцията на земното платно към мостовото съоръжение са предприемани мерки за плавен преход между тях, поради различните деформационни качества. Това се получава затова, защото коравината на пътя на подхода на земно платно е значително по – ниска, отколкото на мостово съоръжение. При този преход (Фиг.1) монолитната подрелсова основа се явява особено „чувствителна” в тази област. Дори и след фазата на консолидация на земната основа поради различните коравини са предприемани различни мероприятия в преходните области.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Преходът от монолитна подрелсова основа (от безбаластов железен път) на земна основа към безбаластов път върху мостово съоръжение става чрез преходни плочи и подобрена основа на безбаластовия релсов път в зоната до задния ръб на устоя (Фиг.2).

С цел недопускане на пластични деформации и осигуряване стабилност на железния път по ос и ниво е необходимо да е изградена конструкция на преходната област пред (след) мостови съоръжения с твърда монолитна основа. Тази преходна зона е с нормална дължина от  $2H+5,00\text{m}$ .  $H$  е височина на насипа измерена в оста на железния път. Минималната дължина на такава преходна зона е  $H+5,00\text{m}$ , но не по-малко от  $10,00\text{m}$ . По цялата дължина и ширина на преходната зона трябва да е изпълнен защитен пласт с дебелина най-малко  $0,50\text{m}$ .

Преходната плоча се явява преходна конструкция на пътя в края на моста или такава конструкция между две конструкции тип „прости греди“ над стълб, способна да премахне „вредните“ товари на монолитната подрелсова основа.

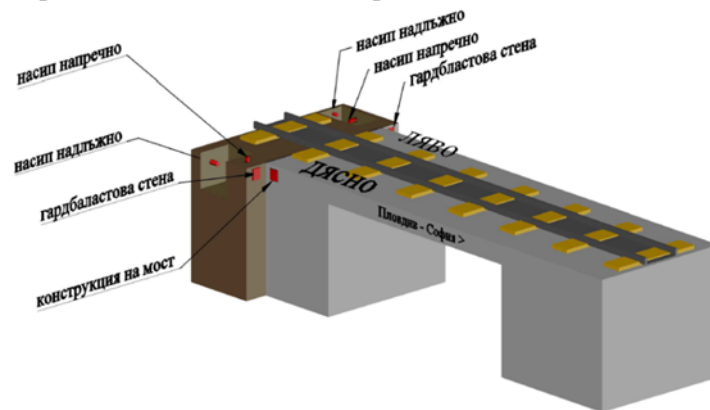
Земната основа, върху която се полага защитният пласт, трябва да бъде с достатъчна носимоспособност и да осигурява полагането на конструктивните пластове без отчитане на недопустими деформации. Минималната носимоспособност на земната основа при безбаластов път е  $80\text{MPa}$ .

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

С цел дефиниране и анализиране на примерни динамични параметри на 08.09.2023г. е проведено измерване на виброускорение и вибропреместване от преминаващите влакове (пътнически и товарни) в преходната област при връзката между източния устой на стоманобетонния мост на км 10+111 по път №1 и земно-насипното тяло зад източния устой.

Измерването на виброускорението и вибропреместването е извършено с виброанализатор PULSE-FFT (Виброанализатор B&K PULSE 3560-B-140) с акселерометри CTC 101A. Използван е софтуер за обработка на данните B&K PULSE LabShop.

За определяне на виброускорението и вибропреместването в напречна и надлъжна посока са съставени 4 (четири) подварианта на разположение на сензорните датчици, разположени в преходната област при връзката между стоманобетонения мост и земно-насипното тяло (Фиг.3). В доклада е представен само 1 (един) вариант, както следва:



Фиг. 3. Аксонометричен изглед при връзката мост – насип



Фиг. 4. Мост на км 10+111

II. Вариант (Фиг.4):

Дясно:

- Сензор на устой на гардбаластова стена на мост – напречно;
- Сензор на армировъчен прът в насип – напречно;

Ляво:

- Сензор на връхна конструкция на мост – напречно;
- Сензор на армировъчен прът в насип – напречно;

Преминали влакове:

- в 9,57 часа: Бърз влак № 2640 от Горна Оряховица до Пловдив

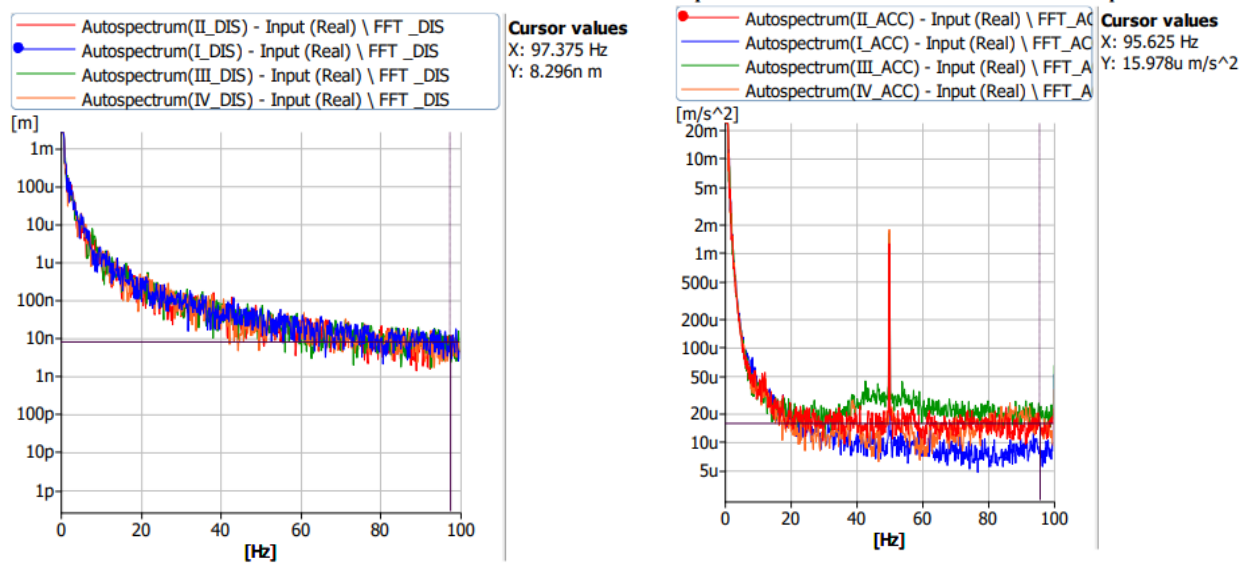
#### 4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗВЪРШЕНОТО ИЗМЕРВАНЕ

##### II. Вариант на разположение на сензорите:

Таблица 1

№	Разположение на сензорите
I	Сензор на устой на гардбаластова стена на мост – надлъжно; дясно
II	Сензор на връхна конструкция на мост – напречно; дясно
III	Сензор на армировъчен прът в насип – надлъжно; дясно
IV	Сензор на армировъчен прът в насип – напречно; дясно

Посока на разположение на датчиците: Пловдив – София



Фиг. 5. и Фиг. 6. Графично представяне на виброускорение и вибропреместване на „фон“ на изследвания обект

Най-ниски стойности при измерването на виброускорение на влак № 2640:

- Гардбаластовата стена на моста напречно дясно (I)  $0,0700m/s^2$  при 66,500Hz,
- Връхна конструкция на моста напречно ляво (II)  $0,0648m/s^2$  при 4,375Hz
- Насип надлъжно ляво (III):  $0,0570m/s^2$  при 4,500Hz
- Насип напречно дясно (IV)  $0,0589m/s^2$  при 4,750Hz

Най-високи стойности при измерването на виброускорение на влак № 2640:

- Гардбаластовата стена на моста напречно дясно (I)  $1,863m/s^2$  при 94,375Hz,
- Връхна конструкция на моста напречно ляво (II) от  $4,617m/s^2$  при 54,000Hz
- Насип надлъжно ляво (III)  $13,476m/s^2$  при 33,000Hz.

## 5. ПРАКТИЧЕСКО ПРИЛОЖЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ, ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

С цел създаване на възможно най – точен и прецизен модел около преходната област между транспортно съоръжение (мост, тунел) и земно – насипно тяло, както и между различни типови конструкции железен път с отчитане само на динамичното натоварване, както и въз основа на проведените измервания, резултатите, получени от теоретико – практичното изследване биха могли да послужат за:

➤ Намаляване на вертикалните деформации в преходните участъци с допълнителни мероприятия за увеличаване стойността на еластичния модул при преминаване между различни конструкции на монолитна подрелсова основа, въпреки различията в еластичните и деформационни свойства в тази област;

➤ Могат да се направят или допълнят изводи за поведението на безбаластови конструкции при изграждането на бъдещи преходни области и гранични условия;

➤ Подобряване се еднородната структура на конструктивните елементи от горното строене на железния път при различните конструкции на монолитна подрелсова основа в областта на прехода;

➤ При подходяща организация за провеждане на повече експерименти може да се регистрира поведението на системата и в двете релси и с подходящ анализ на повече и достатъчни на брой измервания да се следи поведението на монолитната подрелсова система в тези преходни участъци;

➤ С цел да се извършат динамични и геотехнически изпитания с определяне на вероятната стойност на вибрациите, предизвикана от динамиката на возилата върху земно-насипното тяло на обекти от транспортната инфраструктура е проведено натурно измерване на виброускорение и вибропреместване от преминаващите влакове (пътнически и товарни) в преходната област

при връзката между източния устой на стоманобетонния мост на км 10+111 по път №1 и земно-насипното тяло зад източния устой.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Костов К., Безбаластови конструкции за горното строене на железния път върху земно платно и изкуствени съоръжения, София, ВТУ „Тодор Каблешков“, 2021, ISBN 978-954-12-0282-1.  
[2] Лалов И., Христов Х., Стоманобетонни мостове, София, ВВТУ, 1999.  
[3] БДС EN 1991-2:2006. ЕВРОКОД 1: Въздействия върху строителни конструкции. Част 2: Подвижни натоварвания от трафик върху мостове.  
[4] Darr E., Fiebig W., Feste Fahrbahn: Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn, Tetzlaff Verlag, Hamburg, 2006.  
[5] БДС EN 13230-3:2016 (или еквивалент) „Железопътна техника. Релсов път. Бетонни траверси и опори. Част 3: Двублокови стоманобетонни траверси“

## **DYNAMIC RESEARCH IN THE AREA OF THE TRANSITION BETWEEN BRIDGE AND EMBANKMENT ON THE RAILWAY**

**Kosta Kostov, Ivan Tsuparski**

[Kpetrov77@abv.bg](mailto:Kpetrov77@abv.bg)

**Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, Geo Milev Str. 158,  
BULGARIA**

***Abstract:** Bridge structures in general are subjected to significant dynamic loads. These are impacts that change rapidly over time in location, magnitude, direction or direction, especially in the transitional areas at their connection with the earth-fill body. They cause significant accelerations and inertial forces, which must be taken into account even during the design.*

*According to their characteristics, dynamic loads can be divided into the following groups: mobile, seismic, wind, stationary periodic, short-term /impulse/, stationary impact, etc. For bridge structures, the first three groups of loads are of greatest importance.*

*In bridge structures, multiple or close natural frequencies are often obtained, to which, however, different natural vibration modes correspond. Therefore, the same dynamic, including seismic, load can excite several natural modes, in which the vibrations are superimposed on each other. This causes vibrations. In order to determine the most unfavorable direction for the various forces, they must be studied separately for a number of directions.*

*In this report, the influence of the dynamic load from rolling stock is studied, as partially imitating seismic effects that threaten the reliability of the transition areas at the connection between bridges and the earth-fill body, as the basis of the railway lines. In connection with improving the stability of the structures of the railway infrastructure facilities under increasing dynamic loads, a measurement of vibration acceleration and vibration displacement from the passing rolling stock in the transition area at the connection between a reinforced concrete bridge and the earth-fill body behind the abutment was carried out.*

***Key words:** Bridge structure, earth-fill body, railway lines, vibration acceleration, vibration displacement.*