



Получена: 28.09.2020 г.

Приета: 20.10.2020 г.

СТОМАНЕН ЖП МОСТ ДО СПИРКА „ВЛАДО ТРИЧКОВ“. СЪСТОЯНИЕ И ПОДГОТОВКА ЗА ИЗМЕРВАНЕ

Л. Здравков¹, В. Танев², М. Лепоев³, Л. Георгиев⁴

Ключови думи: лъкатушна сила, стоманен мост, измерване

РЕЗЮМЕ

Движението на подвижния жп състав в напречна посока поражда появата на сили, напречни на оста на пътя. В нормативните документи за проектиране на жп мостове са посочени различни стойности на тези сили, като разликите между тях не са малки. Същевременно в достъпната литература по темата не е посочено как са определени тези сили. Затова група изследователи от Университета по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ) са решили чрез натурен експеримент да определят какви са реалните стойности на лъкатушните сили. За целта е избран подходящ за изследването стоманен мост с отворена пътна конструкция. Най-близките до мястото на прилагане на лъкатушната сила конструктивни елементи на моста са надлъжните греди. Затова върху техните пояси са поставени датчици, чрез които авторите са се опитали да определят стойности на лъкатушните сили от реално преминаващи влакове.

¹ Любомир Здравков, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg

² Вълчо Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tanev_fce@uacg.bg

³ Милчо Лепоев, проф. д-р инж., кат. „Железници”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: mlepoev_fte@uacg.bg

⁴ Лазар Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

1. Въведение

Поради наличието на луфт между релсата и реборда на колелото, при движение на жп състава в надлъжна посока се реализират и лъкатушни движения в напречна посока, и удари на ребордите по релсите. Ребордите на колелата, които не позволяват на влака да дерайлира, контактувайки с главата на релсите, предизвикват сили, напречни на оста на пътя. Съгласно „Норми за проектиране на пътни и железопътни мостове и водостоци” от 1990 г. [1], напречната хоризонтална сила в жп мостове има характеристична стойност $Q_{sk} = 60 \text{ kN}$. Според стандарт БДС EN1991-2:2006 [2], лъкатушната сила е със стойност $Q_{sk} = 100 \text{ kN}$, а когато се отчете посоченият в БДС EN 1991-2:2006/NA:2015 [3] коефициент за класифицирани товари $\alpha = 1,21$, характеристичната стойност нараства до $Q_{sk} = 121 \text{ kN}$. Очевидно, разликата в Q_{sk} е повече от два пъти. Възниква въпросът, кой от посочените нормативни документи предписва по-реалистични стойности. Определянето на хоризонталното напречно въздействие от железопътния състав е сравнително сложно и зависи от скоростта на движение, както и редица параметри на подвижния състав, релсо-траверсовата скара и връзката ѝ с надлъжните греди [4]. В опит да намери отговор на този въпрос, изследователски колектив от УАСГ е извършил натурни измервания и изчисления на съответстващите стойности на напречните хоризонтални сили, породени от реални жп състави, преминаващи по стоманен мост с отворена пътна конструкция.

2. Вид и състояние на моста

Изследваното съоръжение представлява двуотворен стоманен жп мост, вж. фиг. 1, разположен над река Искър. Във всеки отвор са разположени по две прътови главни греди, свободно подпрени върху долното строене посредством стоманени (подвижен и неподвижен) лагери.



Фиг. 1. Общ вид на изследвания стоманен мост – на km 18⁺⁹⁸⁵

Пътната конструкция е класическа, от отворен тип (релсотраверсовата скара стъпва директно върху надлъжните греди), вж. фиг. 2. Тя се състои от ставно свързани помежду си надлъжни и напречни греди, имащи приблизително еднаква височина. Напречните греди от пътната конструкция са подпирани във възлите по горните пояси на прътовите главни греди. Жп траверсите са дървени и са захванати посредством лапчати болтове или ъглови профили към надлъжните греди.



Фиг. 2. Пътна конструкция от отворен тип

Допълнителна информация за моста като проектант, норми за проектиране, година за въвеждане в експлоатация, използвани стомани, не е открита от авторите.

Мостът е внимателно огледан по време на подготовката за научния експеримент. Общото му състояние изглежда добро, но са забелязани някои повреди.

2.1. Повреди по антикорозионната защита

Мостът е почистен и боядисан сравнително скоро, което е видно от наситения и равномерен цвят на предпазната боя, но се виждат зони с повреди в нея и/или „избила“ ръжда, вж. фиг. 3.



а) корозия по ръбовете на надлъжните греди и в горната противовеетрова връзка



б) корозия по елементите на пешеходните пътеки

Фиг. 3. Повреди в антикорозионната защита

2.2. Повреди по стоманената конструкция

Забелязаните повреди в стоманената конструкция на моста могат да бъдат обединени в следните групи:

- а) причинени от преминаващи под моста превозни средства, вж. фиг. 4;
- б) причинени от недобро проектиране и поддръжка, вж. фиг. 5.



а) изкривени диагонали в долната противовеетрова връзка



б) ударен диагонал и нитове по долния пояс на моста

Фиг. 4. Повреди, причинени от преминаващи превозни средства

Причината за удари на превозни средства в моста се дължи на факта, че под него преминава черен път към съседната махала, без да е осигурен необходимият габарит. Разстоянието от пътя до долния пояс на моста е от порядъка на 2,20 m.

Голяма част от опънните диагонали в прътовите главни греди са изпълнени чрез наставяне на няколко шини. При свързването на шините помежду им, както и при свързването им към възловите плочи, са използвани нитове. При голямо разстояние между тях, както е в този конкретен случай, между стоманените елементи прониква вода, която води до корозия. Получилите се от нея продукти имат по-голям обем от този на основния метал, в резултат на което плоските шини и възлови плочи се изкривяват навън. Това още повече улеснява проникването на атмосферна вода и ускорява корозионните процеси. Когато това се съчетае с неадекватна поддръжка, се наблюдават съществени изкривявания в конструктивните елементи.



а) отделяне на възловата плоча от диагонала



б) разтваряне на шините в опънните диагонали на прътовите главни греди

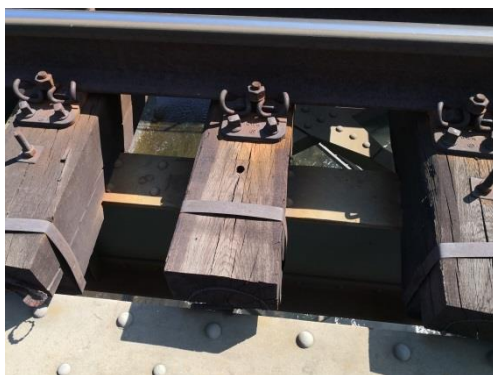
Фиг. 5. Повреди, причинени от лошо проектиране

2.3. Повреди по елементите на железния път

Забелязаните повреди по елементите на железния път са показани на фиг. 6. Те показват по-скоро липса на регулярен оглед и качествена поддръжка.



а) липсващи гайки



б) липсващ лапчат болт



в) лапчат болт много близо до ръба



г) отцепено парче от траверсата

Фиг. 6. Повреди по елементите на горното строене на железния път

3. Подготовка за измерване

Концепцията за сравнение на предписаните в нормативите стойности на лъкатушните сили, с изчислените въз основа на проведени натурни измервания, се състои в следното:

В реално време, при преминаване на жп състави, в средното напречно сечение на крайните надлъжни греди се измерват:

- а) относителните деформации в шест точки от едно напречно сечение;
- б) хоризонталното преместване по горен пояс на двете надлъжни греди;
- в) хоризонталните ускорения на ниво на горен пояс за двете надлъжни греди.

От измерените относителни деформации може да бъде определен огъващият момент в напречна посока, оттам да бъде изчислена лъкатушната сила:

$$L_{calc} = k_L^{-1} R_{[3,1]} \quad (1)$$

$$\{R\} = E_a [A]^{-1} \{e\},$$

където:

$$\{R\} = [N, M_y, M_z]^T, \quad (2)$$

$$\{e\} = [\varepsilon_i, \varepsilon_j, \varepsilon_k]^T, \quad (3)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{longg}^{-1} & z_i I_{longg,y}^{-1} & y_i I_{longg,z}^{-1} \\ A_{longg}^{-1} & z_j I_{longg,y}^{-1} & y_j I_{longg,z}^{-1} \\ A_{longg}^{-1} & z_k I_{longg,y}^{-1} & y_k I_{longg,z}^{-1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

в която A_{longg} , $I_{longg,y}$, $I_{longg,z}$ са съответно площта и инерционните моменти спрямо осите $y-y$ (хоризонтална ос в равнината) и $z-z$ (вертикална ос, извън равнината) на надлъжната греда от отворен тип пътна конструкция;

i, j, k – номерата на съответно използваните електросъпротивителни датчици с които са измерени относителните деформации в надлъжна посока за съответните точки от напречното сечение на надлъжната греда;

$z_i, z_j, z_k, y_i, y_j, y_k$ – съответните ординати на точките i, j, k спрямо осите $z-z$ и $y-y$;

k_L – огъващият момент спрямо вертикалната ос $z-z$ в напречното сечение на надлъжната греда, породен от единична сила, приложена в хоризонтална напречна посока на ниво на горния ѝ пояс;

$R_{[3,1]}$ – елемент в 3 ред, 1 колона от вектора $\{R\}$.

$E_a = 210\,000$ МПа – модулът на еластичност на стоманата.

Впоследствие, от измерените относителни деформации ще бъдат изчислени съответстващите разрезни усилия. На тази база може да се определи фиктивна лъкатушна сила с предписаната от нормите конфигурация, която ще доведе до същите разрезни усилия. Същото може да се извърши по независим път с помощта на измерените премествания в хоризонтална посока за сравнение.

Подготовката за измерване на напречните сили в моста се състои в следното:

а) поставяне на алуминиевото скеле под моста, в непосредствена близост до надлъжните греди. Чрез него беше възможна безопасната работа по долните им пояси;

б) зачистване до метален блясък на горния и долния пояс, в средата на отвора на двете надлъжни греди, вж. фиг. 7а;

в) залепване на тензометрични датчици по поясите, вж. фиг. 7б. За да се повиши точността на резултатите, датчиците са поставени възможно най-близо до надлъжните ръбове на поясите;

г) залепване на ъглови профили към горните пояси на надлъжните греди. Към тях ще бъдат поставени датчици, мерещи ускорение в хоризонталната равнина, вж. фиг. 7в;

д) защитаване на тензометричните датчици чрез силиконово лепило, вж. фиг. 7г. Идеята е замерването да се осъществява многократно, в дълъг период от експлоатацията на моста.



а) зачистване на поясите



б) залепване на тензометричните датчици



г) залепване на допълнителен ъглов профил за датчиците, мерещи ускорение



г) защита на тензометричните датчици

Фиг. 7. Подготовка за поставяне на датчици

4. Заключение

В заключение следва да се отбележи, че поради случайния характер на ударите на ребордите на колелата на жп състав в релсите, определянето на хоризонталното напречно въздействие върху елементите на носещата конструкция на жп мост е сравнително сложно. В нормите за проектиране [2] е възприето отчитането на хоризонталното напречно въздействие от жп състав посредством фиктивна концентрирана сила – лъкатушна сила. Целта на планираните измервания в рамките на научно-изследователската тема по дог. БН-231/20 към ЦНИП е да бъдат измерени в реално време параметрите на въздействието в хоризонтална напречна посока върху надлъжните греди от отворен тип пътна конструкция на експлоатиран стоманен нитован жп мост при преминаване на реални жп състави и да бъде съпоставена изчислената на тази база лъкатушна сила (във функция на времето) с нормираната.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-231/20 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Норми за проектиране на пътни и железопътни мостове и водостоци. Част пета. София, 1990.
2. БДС EN 1991-2:2006. Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Подвижни натоварвания от трафик върху мостове.
3. БДС EN 1991-2:2006/NA:2015. Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Подвижни натоварвания от трафик върху мостове. Национално приложение (NA).
4. *Sijian Deng*. A simplified model for assessing lateral railway bridge resonance behaviour study on the lateral dynamics of railway bridges. Thesis presented for the degree of Master of Science, Delft University of Technology, the Netherlands, March 15, 2015.

STEEL RAILROAD BRIDGE AT THE BEGINNING OF VLADO TRICKOV RAILWAY STATION. CONDITION AND PREPARATION FOR MEASUREMENT

L. Zdravkov¹, V. Tanev², M. Lepoev³, L. Georgiev⁴

Keywords: noising force, steel bridge, measurement

ABSTRACT

The movement of the trains in the transverse direction causes the appearance of forces transverse to the axis of the road. The normative documents for the design of railway bridges indicate different values of these forces, and the differences between them are not small. At the same time, the available literature in that field does not indicate how these forces are defined. Therefore, a group of researchers from the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG) have decided through a field experiment to determine the real values of these transverse forces. For this purpose, a steel bridge with an open road structure, suitable for the study, is selected. The structural elements of the bridge, closest to the place of application of the noising force, are the longitudinal beams. Therefore, sensors are placed on their flanges, through which the authors have tried to determine the values of the transverse forces caused by actual passing trains.

¹ Lyubomir Zdravkov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Metal, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg

² Vatyo Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Metal, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tanev_fce@uacg.bg

³ Milcho Lepoev, Prof. Dr. Eng., Dept. "Railway Construction", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: mlepoev_fte@uacg.bg

⁴ Lazar Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lazar_fte@uacg.bg