



Получена: 23.06.2022 г.

Приета: 13.07.2022 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТОЙНОСТИТЕ НА ЛЪКАТУШНИТЕ СИЛИ В СТОМАНЕН ЖП МОСТ

Л. Здравков¹, В. Танев², Л. Георгиев³, М. Лепоев⁴, Н. Керенчев⁵

Ключови думи: стоманен мост, надлъжни греди, “in situ” измерване, деформации, лъкатушна сила

РЕЗЮМЕ

При движението на подвижния жп състав в надлъжна посока се реализират флукуационни движения в напречна посока поради наличието на луфт между ребордите на колелата и релсите. Последните водят до силови въздействия, които са по посока, напречна на оста на пътя. В актуалните нормативни документи за проектиране на жп мостове са посочени различни стойности на тези сили, като разликите между тях са значителни. Същевременно в литературата по темата не е посочено как са определени стойностите на тези сили. Затова група изследователи от Университета по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ) са решили чрез серия от натурни замервания 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, поради което върху техните пояси са поставени датчици, чрез които авторите по разработена изчислителна методика са определили стойностите на лъкатушните сили от реално преминаващи пътнически и товарни 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 Лазар Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

⁴ Милчо Лепоев, проф. д-р инж., кат. „Железници”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: mleroev_fte@uacg.bg

⁵ Николай Керенчев, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kerenchev@hotmail.com

1. Въведение

Поради наличието на луфт между ребордите на колелата от ходовата част на жп возилата и релсите при движение на влаковете в надлъжна посока се реализират и лъкадушни движения в напречна посока. В резултат 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 $Q_{sk} = 60$ kN. Според стандарти BS 5400-2:2006 [2] и БДС EN1991-2:2006 [3], лъкадушната сила е със стойност $Q_{sk} = 100$ kN. Когато се отчете посоченият в националното приложение БДС EN 1991-2:2006/NA:2015 [4] коефициент за класифицирани товари $\alpha = 1,21$, характеристичната стойност на лъкадушната сила нараства до $Q_{sk} = 121$ kN. Разликата в посочените в [1] и [3, 4] стойности на Q_{sk} е повече от два пъти. Възниква въпросът, кой от посочените нормативни документи предписва по-реалистични стойности. За да намери отговор на този въпрос, през 2020 г. изследователски колектив от УАСГ е извършил натурни изпитвания въз основа на които са изчислени съответстващите еквивалентни стойности на напречните хоризонтални сили, породени от реални жп състави, преминаващи по стоманен мост с отворена пътна конструкция [5]. От направените изчисления на избрани шест пътнически и два товарни влака са получени следните резултати [6]:

а) при пътническите влакове сумарната (общата) лъкадушна сила, приложена и към двете надлъжни греди, не превишава 14 kN;

б) при товарните влакове максималните стойности на сумарните напречни сили са от порядъка на $18 \div 30$ kN.

От една страна е видно, че при конкретните условия на проведения експеримент стойностите на лъкадушните сили са значително по-малки от предписанията на нормативите [1 – 4]. От друга страна, определените през 2020 г. лъкадушни сили са на базата на сравнително малък брой преминали влакове. Затова, с цел увеличаване на представителността на изследването и прецизиране на резултатите изследователският екип през 2021 г. проведе допълнителни натурни изпитвания на описания по-горе стоманен мост.

2. Вид и основни данни за изследвания стоманен нитован мост

Съоръжението, на което експериментално са определени стойностите на еквивалентните хоризонтални напречни лъкадушни сили, се намира на km 18⁺⁹⁸⁵ по Втора главна жп линия София – Мездра – Варна, в междугарието между сп. „Ромча“ и сп. „Владо Тричков“. То представлява двуотворен стоманен жп мост, вж. фиг. 1, разположен над река Искър. Във всеки отвор са поставени по две прътови главни греди, свободно подпрени върху долното строене посредством стоманен неподвижен и линейно подвижен лагер.

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 подпрени във възлите по горните пояси на прътовите главни греди. Траверсите са дървени и са захванати посредством лапчати болтове или ъглови профили към горните пояси на надлъжните греди.

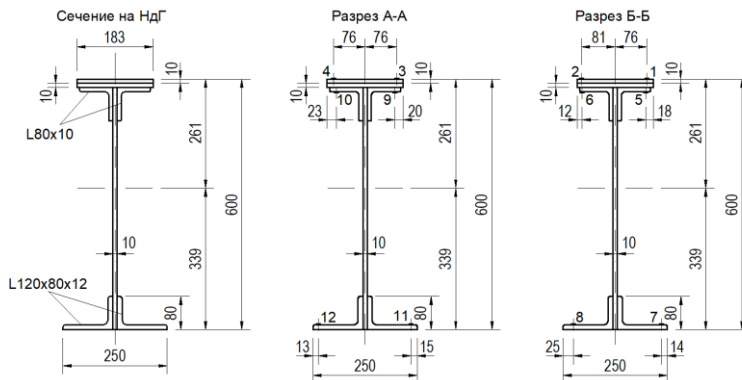


Фиг. 1. Общ вид на изследвания стоманен мост на km 18⁺⁹⁸⁵



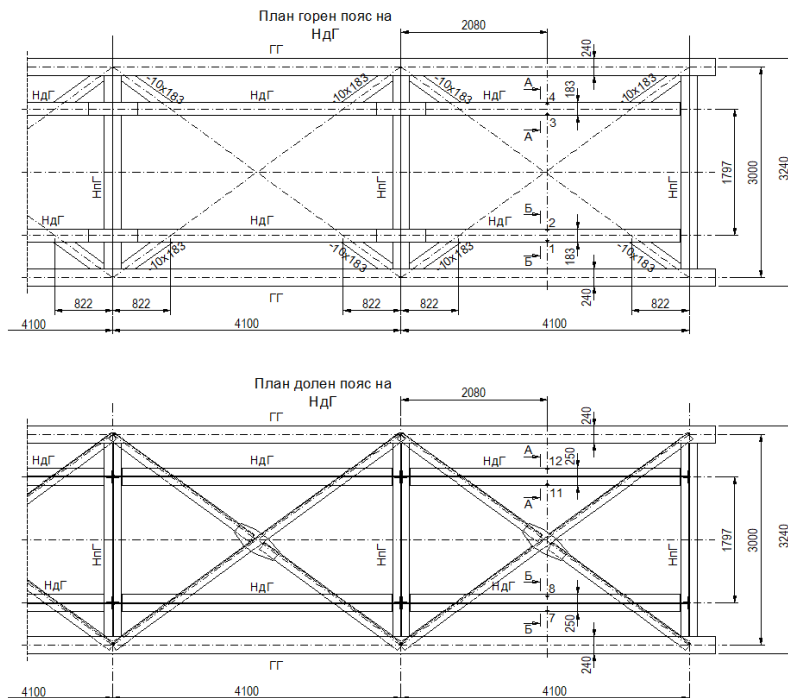
Фиг. 2. Пътна конструкция от отворен тип

Сеченията на надлъжните греди и номерацията на поставените по тях тензометрични датчици е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Сечения на надлъжните греди на моста и места на поставяне на тензометричните датчици

Основните размери на пътната конструкция на изследвания стоманен жп мост и местата на поставяне на тензометричните електросъпротивителни датчици са показани на фиг. 4.



Фиг. 4. Основни размери на пътната конструкция на моста и места на поставяне на тензометричните датчици

Авторите не са успели да открият допълнителна информация за моста като проектант, норми за проектиране, използвани стомани, година за въвеждане в експлоатация.

3. Измервания

През 2021 г. изследователският екип е посетил избрания мост два пъти:

а) на 29.05, когато е проверил състоянието на поставените през 2020 г. електросъпротивителни датчици;

б) на 08.07 ÷ 10.07, при което са измерени хоризонталните ускорения в напречна посока в средите на горен пояс на двете надлъжни греди от краен отвор и относителните деформации при електросъпротивителните датчици при преминаване на:

- ✓ единичен дизелов локомотив, серия 55;
- ✓ 5 товарни влака;
- ✓ 11 бързи влака, състоящи се от локомотив и 4 или 5 вагона;
- ✓ 9 пътнически влака, от които:
 - ✓ 6 от влаковете се състояха от локомотив и 3 или 4 вагона;
 - ✓ 3 влака бяха мотриси Desiro на Siemens.

Предвид по-голямото общо тегло и/или скорост на преминаване на товарните и бързите влакове, не са изследвани лъкатушни сили, породени от пътническите влакове.

4. Определяне на напречните лъкатушни сили въз основа на измерени деформации в поясите на надлъжните греди

В средата на последното поле на пътната гредоскара, вж. фиг. 3 и 4, по поясите на надлъжните греди са поставени електросъпротивителни датчици 1-LY11-10/120, вж. фиг. 5. Електрическата им схема на свързване е полумост. Чрез датчиците, при честота на записване от 300 Hz, са измерени в реално време относителните деформации в поясите на надлъжните греди, които са предизвикани от преминаването на реални влакове.



а) зачистване на поясите на надлъжните греди



б) залепване на електросъпротивителни датчици

Фиг. 5. Подготовка за поставяне на електросъпротивителни датчици

От измерените относителни деформации са изчислени съответстващите разрезни усилия. На тази база може да се изчисли фиктивна лъкатушна сила L_{calc} (приложена на ниво горен ръб релса), която ще доведе до реализиране на определените разрезни усилия:

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

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

където:

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

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

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

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, вж. фиг. 3 и 4;

$z_i, z_j, z_k, y_i, y_j, y_k$ – 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.

Относителните деформации, въз основа на които са изчислени лъкатушните сили, се измерват в реално време и за всеки момент от време изчислената фиктивна лъкатушна сила представлява алгебрично число със знак, показващ посоката ѝ. Така се получават три основни стойности:

$Q_{sk,tot,1}$ – максимална стойност на лъкатушна сила, изчислена въз основа на измерванията в реално време на относителните деформации по надлъжна греда 1 – дясната надлъжна греда (по посока на движение);

$Q_{sk,tot,2}$ – максимална стойност на лъкатушна сила, изчислена въз основа на измерванията в реално време на относителните деформации по надлъжна греда 2 – лявата надлъжна греда (по посока на движение);

$Q_{sk,tot}$ – максимална стойност на лъкатушна сила, изчислена въз основа на измерванията в реално време на относителните деформации по надлъжна греда 1 и 2 като получените стойности за двете греди се сумират във всеки момент от време в съответствие със своя знак, показващ посоката на хоризонталното напречно въздействие в съответния момент от време.

Получените чрез относителните деформации стойности на лъкатушните сили са показани на табл. 1 и графично, на фиг. 6 – 8.

От посочените в табл. 1 стойности на лъкатушните сили, получени от преминалите единадесет бързи влака, могат да се направят следните заключения:

а) максималните стойности на напречните лъкатушни сили не превишават 26 kN за една надлъжна греда, вж. фиг. 6;

б) максималната стойност на сумарната (общата) лъкатушна сила, приложена едновременно и към двете надлъжни греди, не превишава 21 kN.

От посочените в табл. 1 стойности на лъкатушните сили, получени от преминалите пет товарни влака, могат да се направят следните изводи:

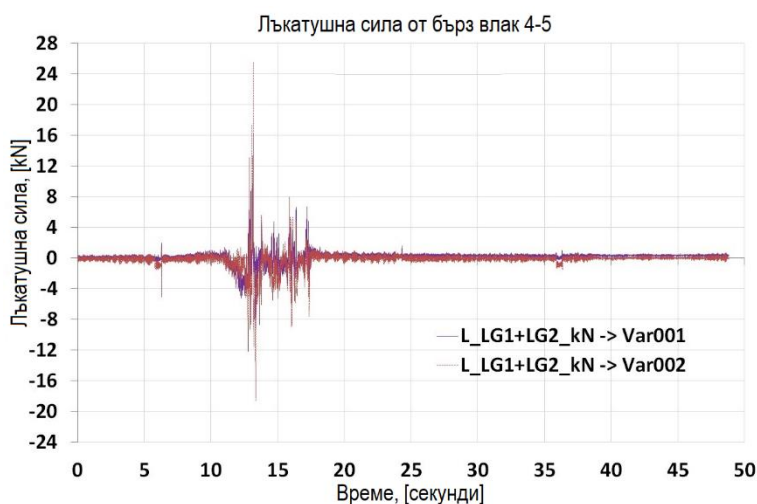
а) максималните стойности на напречните лъкатушни сили не превишават 25 kN за една надлъжна греда, вж. фиг. 7;

б) сумарната (общата) лъкатушна сила, приложена едновременно и към двете надлъжни греди, не превишава 25 kN.

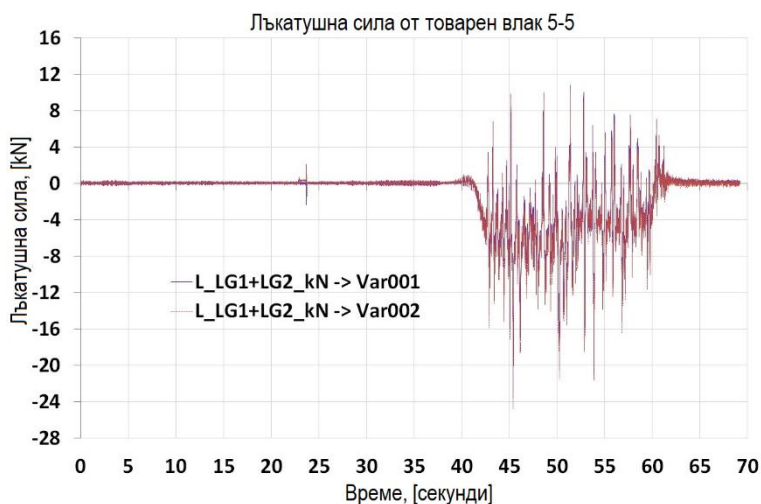
Таблица 1. Изчислителни влакове и породени от тях лъкатушни сили, определени чрез отчитане на относителните деформации, 08.07 – 10.07.2021

Влак №	Тип влак	Скорост [km/h]	$Q_{sk,tot,1}$ [kN]	$Q_{sk,tot,2}$ [kN]	$Q_{sk,tot}$ [kN]	$Q_{sk,tot}/Q_{sk,EC1991-2}$
4 – 1	товарен	58,0	20,222	19,960	20,091	0,166
4 – 2	бърз	–	1,481	1,814	1,648	0,014
4 – 5	бърз	–	16,358	25,575	20,967	0,173
4 – 6	бърз	72,0	9,304	8,057	8,681	0,072
4 – 8	бърз	67,0	11,900	12,683	12,291	0,102
4 – 12	бърз	67,0	9,778	9,931	9,855	0,081
5 – 1	товарен	69,0	17,876	18,966	18,421	0,152
5 – 3	бърз	–	8,089	8,314	8,202	0,068
5 – 4	товарен	–	16,282	18,582	17,432	0,144
5 – 5	товарен	–	23,508	24,790	24,149	0,200
5 – 6	бърз	–	12,181	16,599	14,390	0,119
5 – 8	бърз	71,2	13,155	14,526	13,840	0,114
5 – 10	бърз	67,4	12,804	13,870	13,337	0,110
6 – 2	бърз	80,0	8,369	9,084	8,727	0,072
6 – 3	товарен	60,0	16,754	17,625	17,190	0,142
6 – 4	бърз	71,0	11,975	15,719	13,847	0,114

$Q_{sk,EC1991-2} = 121$ kN – класифицираната характеристична стойност на лъкатушната сила, съгласно [3, 4].

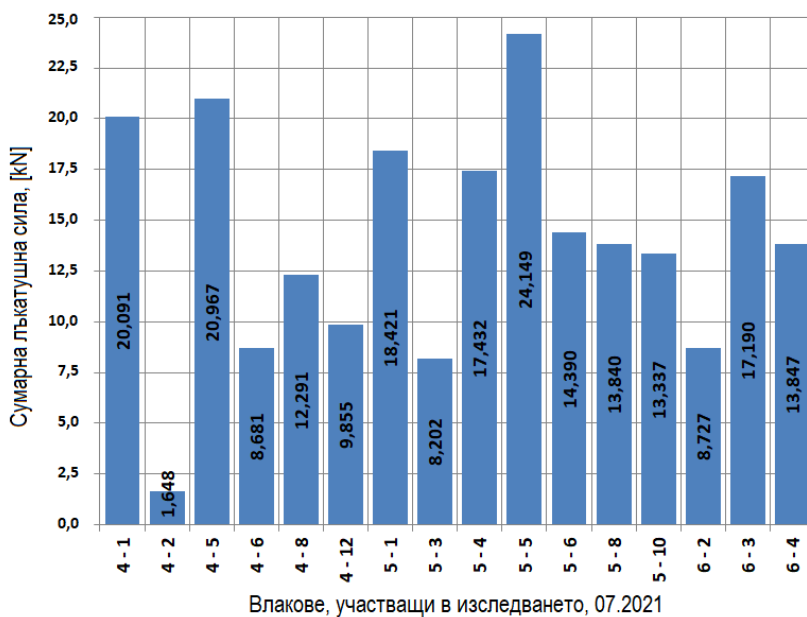


Фиг. 6. Лъкатушни сили от преминаване на бърз влак 4-5



Фиг. 7. Лъкатушни сили от преминаване на товарен влак 5-5

Лъкатушните сили, определени от направените на 08.07 – 10.07.2021 измервания, не са по-големи от отчетените през 2020 г. [6].



Фиг. 8. Сумарна стойност на лъкатушни сили в двете надлъжни греди на моста, отчетени чрез относителните деформации в поясите на НдГ

Наличието в един и същ момент от време на лъкатушни сили с различен знак във всяка една от надлъжните греди, както и съпадението на пиковете на диаграмите във времето, показват, че дървените траверси имат известна преразпределяща роля, но това не е достатъчно, за да бъдат изравнени напречните усилия в двете надлъжни греди при по-големи стойности.

5. Определяне на напречните лъкатушни сили на базата на измерени хоризонтални ускорения в горните пояси на надлъжните греди

Освен електросъпротивителни датчици, по горните пояси на НдГ са поставени акселерометри за измерване на ускоренията. Чрез тях са записвани напречните хоризонтални ускорения, предизвикани от преминаването на жп състави. След подходяща обработка, от тези ускорения могат да се получат напречните хоризонтални премествания, а чрез тях изчислени съответстващите лъкатушни сили. Методиката е разработена от гл. ас. д-р инж. Н. Керенчев и накратко тя включва:

- а) оценка на сигнала чрез бързо преобразуване на Фурие (FFT) и анализ на спектрограмата;
- б) филтриране на високите честоти, които са с ниски амплитуди и не са значими за конструкцията. В този случай е приложен Butterworth филтър;
- в) чрез интегриране от акселерограма се получава велосиграма;
- г) премахване на нискочестотни съставки, получени при интегрирането;
- д) определяне на преместванията.

Получените по тази методика резултати са показани в табл. 2. Вижда се, че изчислените стойности на лъкатушните сили са по-големи от определените чрез тензометрични датчици:

- а) при преминаването на товарен влак № 5-1 напречните сили достигат почти 65 kN за една надлъжна греда;
- б) сумарната (общата) лъкатушна сила, приложена едновременно и към двете надлъжни греди, при същия влак № 5-1 е почти 61 kN.

За сметка на това, при бързите влакове няма разлика в максималните стойности на лъкатушните сили за една греда. Те не надвишават 26 kN и по двата метода на определяне.

При сравнение на лъкатушните сили, определени чрез тензометрични датчици и чрез акселерометри, влак по влак и греда по греда, прави впечатление следното:

- а) при товарен влак № 5-1 разликата в усилията е над три пъти, в полза на метода, базиран на напречните ускорения;
- б) при бърз влак № 5-4 има почти пълно съвпадение в стойностите за една греда и за цялостното напречно въздействие, вж. табл. 1 и 2;
- в) няма никаква зависимост при „разминаването“ на стойностите на лъкатушните сили, определени по двата метода.

От табл. 2 е видно още, че резултатите не надхвърлят нормираните стойности в „Норми за проектиране на пътни и железопътни мостове и водостоци“ от 1990 г. [1], и са с около 40% по-ниски от нормираните в БДС EN1991-2:2006 [3].

При предходно изследване на авторите [6] напречните лъкатушни сили бяха определени чрез измерване на напречните премествания на НдГ и на относителните деформации в тях. Разликите в изчислените стойности, определени по двата метода, бяха сравнително малки. Затова считаме, че в този случай показаните в табл. 1 стойности на лъкатушните сили вероятно са по-близо до реалното въздействие и методиката, базирана на хоризонталните ускорения, се нуждае от допълнително прецизиране. За целта, с оглед да се калибрират изчисленията от записите на акселерометрите, е предвидено едновременно с тях да се измерват в реално време при преминаване на жп возила и хоризонталните премествания в съответните точки от горния пояс на надлъжните греди. Последното е планирано да се извърши посредством монтаж на подходяща стоманена конструкция,

която ще е основа за прикрепване на датчици за измерване на линейни премествания в хоризонтална напречна посока.

Таблица 2. Изчислителни влакове и породени от тях лъкатушни сили, определени чрез отчитане на хоризонталните ускорения, 08.07 – 10.07.2021

Влак №	Тип влак	Скорост [km/h]	$Q_{sk,tot,1}$ [kN]	$Q_{sk,tot,2}$ [kN]	$Q_{sk,tot}$ [kN]	$Q_{sk,tot}/Q_{sk,EC1991-2}$
4 – 1	товарен	58,0	–	–	–	–
4 – 2	бърз	–	–	–	–	–
4 – 5	бърз	–	–	–	–	–
4 – 6	бърз	72,0	–	–	–	–
4 – 8	бърз	67,0	–	–	–	–
4 – 12	бърз	67,0	–	–	–	–
5 – 1	товарен	69,0	64,26	38,62	60,92	0,503
5 – 3	бърз	–	16,34	13,85	23,37	0,193
5 – 4	товарен	–	16,58	13,74	17,41	0,144
5 – 5	товарен	–	43,59	28,81	46,7	0,386
5 – 6	бърз	–	14,85	13,80	18,84	0,156
5 – 8	бърз	71,2	25,34	12,07	23,57	0,195
5 – 10	бърз	67,4	22,17	15,16	16,17	0,134
6 – 2	бърз	80,0	13,24	13,02	16,68	0,138
6 – 3	товарен	60,0	31,6	22,78	27,91	0,231
6 – 4	бърз	71,0	24,04	13,23	17,38	0,143

6. Заключение

Хоризонталното въздействие от флукуационните движения на жп състав в напречна посока имат сложен характер и въздействие върху елементите на пътните конструкции на жп мостове от отворен тип. Отчитането на това сложно по своя характер въздействие в нормите за проектиране се реализира чрез прилагане в най-неблагоприятно положение на напречна хоризонтална сила на ниво горен ръб релса. Предписваните стойности варират в широки граници – 60 kN [1], 100 kN [2] и 121 kN [3, 4], като не се вземат под внимание характерът на трафика и проектната скорост на преминаване на железопътните возила. При извършените редица измервания по стар стоманен нитован мост на km 18⁺⁹⁸⁵ от Втора жп линия (София – Мездра – Варна), при максимална скорост на возилата около 70 km/h, са установени следните максимални стойности на лъкатушните сили:

- а) при преминаване на бързи влакове – 26 kN за една надлъжна греда;
- б) при преминаване на товарни влакове – 30 kN за една надлъжна греда.

Видно е, че при конкретните условия на проведения експеримент – стоманен мост с отворен тип пътна конструкция и при относително ниски скорости на преминаване на железопътните возила (в европейската практика се допуска до 130 km/h за товарни жп

състави), изискванията на [2] и [3, 4] са консервативни. Нормативно предписаните стойности са около $3 \div 4$ пъти по-високи от определените чрез измервания и изчисления за реалния жп трафик.

Почти всички експлоатирани към момента стари стоманени жп мостове в Р.България са с пътна конструкция от отворен тип. Те са проектирани и въведени в експлоатация от края на XIX до около средата на XX век. Тогава лъкатушните сили не са били вземани предвид при проектиране на жп мостове. В наши дни част от тези мостове са в относително добро общо състояние, без да е необходимо усилване на пътната конструкция. Препоръчително е да се проведат допълнителни изследвания в посока на възможностите за адекватно намаляване на предписаните стойности на лъкатушните сили Q_{sk} в бъдещите издания на БДС EN 1991-2 за съществуващи мостове като е възможно да се отчита връзката с проектните скорости на преминаване на возилата по жп инфраструктурата.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-243/21 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Standard for the design of road and railway bridges and culverts. Fifth part, Sofia, 1990.
2. BS 5400-2:2006. Steel, Concrete and Composite Bridges – Part 2: Specifications for Loads. BSI, 2006.
3. BDS EN 1991-2:2006. Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges. Bulgarian Institute for Standardization, 2006.
4. BDS EN 1991-2:2006/NA:2015. Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges. National annex to BDS EN 1991-2:2006, Bulgarian Institute for Standardization, 2015.
5. *Zdravkov, L., Tanev, V., Lepoev, M., Georgiev, L.* Steel Railroad Bridge at the beginning of "Vlado Trichkov" Railway Station. Condition and Preparation for Measurement, Annual of UACEG, vol. 53, issue 4, pp. 993-1002, 2020, ISSN 1310-814X (on Bulgarian).
6. *Georgiev, L., Zdravkov, L., Tanev, V., Lepoev, M.* Equivalent Nosing Force for Steel Railway Bridge, Based on in situ Measurements. IABSE Congress Ghent – Structural Engineering for Future Societal Needs, Ghent, Belgium, 22-24 September, 2021, pp. 1273-1279. DOI: 10.2749/ghent.2021.1273.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF VALUES OF THE NOSING FORCES IN A STEEL RAILWAY BRIDGE

L. Zdravkov¹, V. Tanev², L. Georgiev³, M. Lepoev⁴, N. Kerenchev⁵

Keywords: steel bridge, longitudinal girders, “in situ” measurement, deformations, nosing forces

ABSTRACT

During the movement of the railway vehicles in the longitudinal direction, chaotic movements in the transverse direction are also realized. The latter lead to the appearance of forces that are transverse to the axis of the road. The actual 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 literature on the topic does not indicate how these forces are defined. Therefore, a group of researchers from the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG) has decided through a series of field measurements to determine the real values of the nosing forces. For this purpose, a steel bridge with an open road structure, suitable for the research, was selected. The longitudinal beams are the structural elements of the bridge, closest to the place of application of the nosing force. That is why, sensors are placed on their flanges, through which the authors have determined the values of the nosing forces of actually crossing passenger and freight trains.

¹ Lyubomir Zdravkov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, 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. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tanev_fce@uacg.bg

³ Lazar Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Roads Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

⁴ Milcho Lepoev, Prof. Dr. Eng., Dept. “Railway Construction”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: mlepoev_fte@uacg.bg

⁵ Nikolay Kerenchev, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kerenchev@hotmail.com