

УСИЛИЯ В ГРЕДОСКАРОВА ПЪТНА КОНСТРУКЦИЯ НА Ж. П. МОСТ, ОПРЕДЕЛЕНИ АНАЛИТИЧНО И ЧИСЛЕНО

Любомир Здравков¹

Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия – София

FORCES IN OPENED ROAD STEEL STRUCTURE OF RAILROAD BRIDGE, DETERMINED ANALYTICALLY AND NUMERICALLY

Lyubomir Zdravkov

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia

***Abstract:** Open road structure of steel railway bridges is constructed of longitudinal (LB) and transverse (TB) beams. The longitudinal beams pass over or through the transverse beams and transmit their vertical loads through common joints. Since nodes are rigid, i.e. they provide mutual rotation of items, LB and TB form plain rigid structure that is statically indeterminate system. Internal forces in elements of plain rigid structure caused by vertical moving loads depends on the location of loads on LB, and the ratio of the bending stiffness of LB and TB.*

Forces in steel members of plain structure could be determined analytically, using simplified methods, or precisely, using FEA. Main question is how much is difference between two methods?

***Key words:** railroad bridge, opened road structure, forces, FEA*

Пътната конструкция на стоманените Ж.П. мостове от отворен тип е изградена от надлъжни (НдГ) и напречни (НпГ) греди. При мост с един коловоз, НдГ са 2-е на брой, като разстоянието между тях обикновено е $b = 1,70 \div 1,80$ m [2]. Разстоянието a между НпГ, явяващи се опори на НдГ, се определя в зависимост от вида на главните греди (ГГ). При пълностенни ГГ разстоянието $a = 4,0 \div 5,5$ m [2].

Надлъжните греди преминават над или през напречните греди и чрез снаждащите ги възли им предават връхните товари. Тъй като възлите са корави, т.е. те осигуряват взаимното завъртане на елементите, НдГ и НпГ оформят гредоскара, която е статически неопределима система. Разрезните усилия в елементите гредоскарата, предизвикани от вертикални подвижни товари, зависи както от разположението на товарите по НдГ, така и от съотношението на огъвните коравини на НдГ и НпГ.

1. Определяне на разрезните усилия в надлъжните и напречните греди

Изхождайки от многократната статическа неопределимост на пътната гредоскара, подходите за определяне на разрезните усилия, респективно коректните сечения на НдГ и НпГ, са основно следните:

а) създаване на числен пространствен модел на гредоскарата, използвайки някой от познатите програмни пакети за конструктивно проектиране. Недостатък на този подход е, че е необходимо многократно решаване на гредоскарата за получаване на разрезните усилия в нейните елементи и тяхното оразмеряване. То се налага от факта, че съотношението на огъвните коравини

¹ Любомир Здравков, доц. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” №1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg

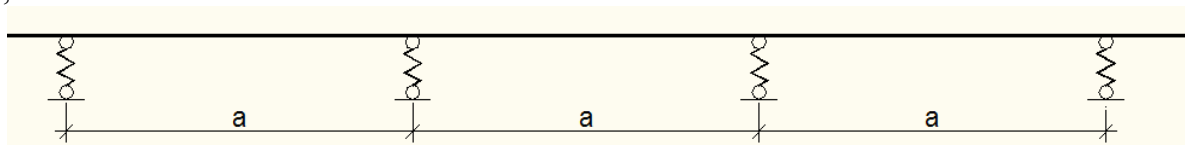
на НдГ и НпГ е от съществено значение за разрезните усилия в тях, а ние предварително не знаем какви стоманени сечения да заложим в модела;

б) предварително аналитично определяне на разрезните усилия в НдГ и НпГ, използвайки посочени в специализираната литература [1] методи. Недостатък на този подход е, че не е ясно доколко разгледаният тук метод е коректен и дава достоверни резултати.

Целта на настоящото изследване е да се провери доколко може да се върва на тази стара аналитична методика.

1.1 Разрезни усилия в надлъжните греди от вертикални товари, аналитична методика

В следствие деформативността (поддаваемостта) на напречните греди, за вертикалните подвижни товари надлъжните греди са със статическа схема непрекъснати греди на еластични опори, виж **Фиг. 1**.



Фиг. 1. Статическа схема на НдГ за вертикални подвижни товари

Предвид трудностите при определяне на разрезните усилия в НдГ при използване на нейната реална статическа схема, на ниво 1-о приближение, съгласно предписанията в [1], може да бъде използвана аналогията с проста греда (**Фиг. 3**) с подпорно разстояние a , равно на разстоянието между 2-е НпГ.

Разрезните усилия в заместващата проста греда се получават по формулите:

- от постоянните товари по надлъжната греда $\sum g_i$:

$$(1.1) \quad M_{G,\max} = \frac{1}{8} \cdot \sum g_i \cdot a^2$$

$$(1.2) \quad Q_{G,\max} = \frac{1}{2} \cdot \sum g_i \cdot a$$

- подвижни вертикални товари по надлъжната греда:

$$(1.3) \quad M_{Q,\max} = k_e \cdot Q_{vk} \cdot \sum \eta_{M,i} \cdot \gamma_Q$$

$$(1.4) \quad Q_{Q,\max} = k_e \cdot Q_{vk} \cdot \sum \eta_{Q,i} \cdot \gamma_Q$$

където:

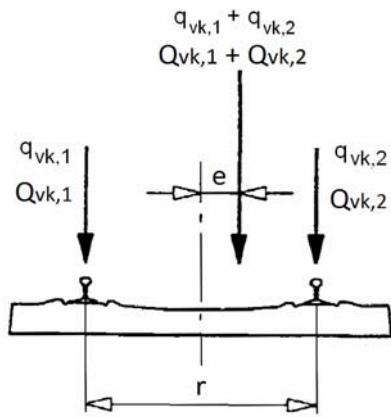
k_e е коефициент, отчитащ ексцентрицитата на вертикалните товари, виж **Фиг. 2**;

Q_{vk} – характеристичната стойност на вертикалните товари от подвижен състав;

$\eta_{M,i}$ – ординатата от линията на влияние за огъващи моменти, виж **Фиг. 3 – б** ;

$\eta_{Q,i}$ – ординатата от линията на влияние за срязващи сили, виж **Фиг. 3 – в** ;

γ_Q – коефициентът за натоварване от вертикални подвижни товари.



Фиг. 2. Ексцентрицитет на вертикални товари

$$\alpha \cdot Q_{vk} = Q_{vk,1} + Q_{vk,2}$$

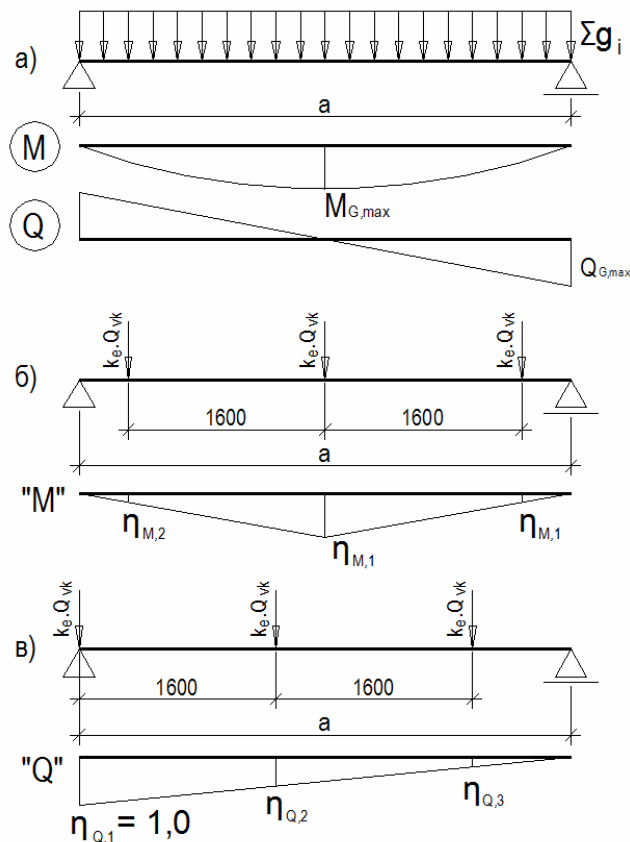
$$\alpha \cdot q_{vk} = q_{vk,1} + q_{vk,2}$$

$$\frac{Q_{vk,2}}{Q_{vk,1}} \leq 1,25 \quad \frac{q_{vk,2}}{q_{vk,1}} \leq 1,25$$

$$e \leq \frac{r}{18} \approx 8,3 \text{ cm},$$

където:

$r = 150 \text{ cm}$ е осовото разстояние между релсите



Фиг. 3. Заместваща проста греда

а) разположение на постоянните товари

б) разположение на подвижните товари за максимален момент M_Q

в) разположение на подвижните товари за максимално срязване Q_Q

Изхождайки от получените чрез заместваща проста греда усилия, разрезните усилия в непрекъснатата НдГ на подаваеми опори ще бъдат:

$$(1.5) \quad M_m = 0,8 \cdot (M_{G,max} + \Phi_i \cdot M_{Q,max}) - \text{максимален огъващ момент в полето};$$

$$(1.6) \quad M_o = 0,75 \cdot (M_{G,max} + \Phi_i \cdot M_{Q,max}) - \text{огъващ момент в НдГ над опората};$$

$$(1.7) \quad V_{z,Ed} = Q_{G,max} + \Phi_i \cdot Q_{Q,max} - \text{максимално вертикално срязващо усилие},$$

където:

Φ_i е динамичният коефициент за натоварване от подвижния състав, зависещ от начина за неговото поддържане.

За коловоз със стандартно поддържане, т.е. $\Phi_i = \Phi_3$, съгласно европейския стандарт EN 1993-2, този коефициент се определя по формулата:

$$(1.8) \quad \Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73, \text{ където } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,0,$$

в който:

L_Φ е "определящата" дължина, свързана с Φ_3 , в [m].

1.2 Разрезни усилия в напречните греди от вертикални товари, аналитична методика

Напречните греди са със статическа схема проста греда и с подпорно разстояние B , равно на разстоянието между ГГ, виж **Фиг. 5**.

За определяне на усилията в НпГ от вертикални подвижни товари, непрекъснатата НдГ на податливи опори се разглежда като 2-е свързани прости греди [1]. Линията на влияние за опорната реакция и начинът на натоварване са показани на **Фиг. 4**.

От така построената линия на влияние се определя характеристичната стойност на опорната реакция R_v^n :

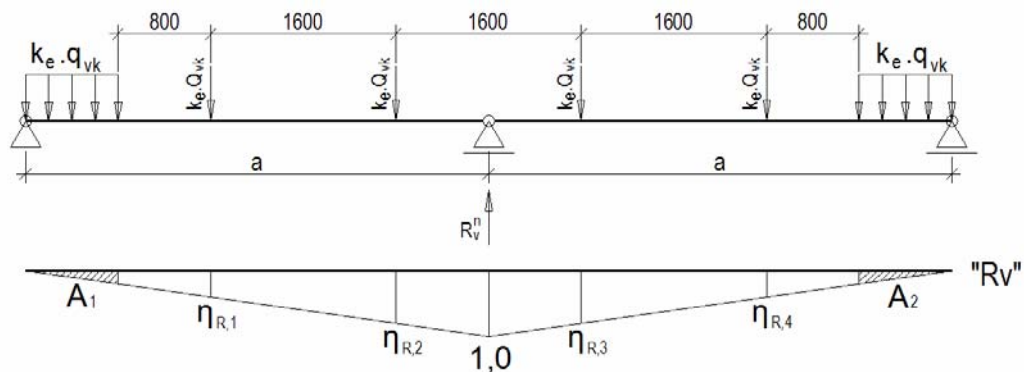
$$(1.9) \quad R_v^n = k_e \cdot Q_{vk} \cdot \sum \eta_{R,i} + k_e \cdot q_{vk} \cdot \sum A_{R,i},$$

където:

$\eta_{R,i}$ е ординатата от линията на влияние за опорната реакция, виж **Фиг. 4**;

q_{vk} - характеристичната стойност на равномерно разпределения вертикален товар от подвижен Ж.П. състав, приспадащ се на една релса;

$A_{R,i}$ - площта на линията на влияние, "затворена" от товар q_{vk}

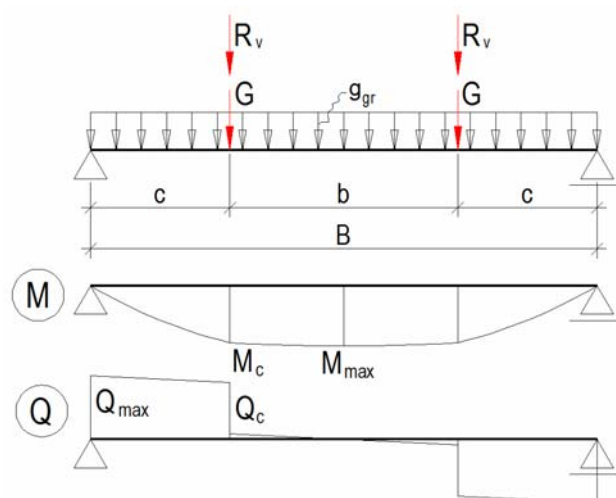


Фиг. 4. Линия на влияние за опорната реакция R_v^n

Изчислителната стойност на опорната реакция от вертикални товари, с която след това натоварваме НпГ (**Фиг. 4**), има вида:

$$(1.10) \quad R_v = R_v^n \cdot \Phi_i \cdot \gamma_Q,$$

Разполагане на вертикалните товари по дължината на НпГ и породените от тях усилия са показани на **Фиг. 5**.



Фиг. 5. Вертикални товари в НпГ и разрезни усилия от тях

1.3 Разрезни усилия в надлъжните и напречните греди от вертикални товари, числен гредоскаров изчислителен модел

За получаване на достоверни резултати от числения модел, в него трябва да бъдат заложени коректни сечения на НдГ и НпГ. При тяхното предварително определяне са възможни следните 2-а подхода:

- определяне на усилията в елементите на гредоскарата, ползвайки посочения по – горе аналитичен подход;
- използване на натрупана база данни от проектирани преди това подобни мостове, откъдето се вземат сеченията на НдГ и НпГ.

След като необходимите за модела сечения на НдГ и НпГ са определени, техните огъвни коравини вече са известни и чрез подходящ програмен продукт се създава пространствен изчислителен модел на пътната гредоскара.

Постоянните товари от теглото на релсите и траверсите се въвеждат като равномерно разпределен товар, приложен по НдГ. Собствено тегло на НдГ и НпГ обикновено се отчитат автоматично от съответната програма. Вертикалните товари от подвижен Ж.П. състав се въвеждат по НдГ с техния ексцентрицитет. Разполагането им по дължината на моста следва да бъде такова, че да се получат максимални стойности на разрезните усилия и на деформациите в изследваните елементи.

2. Сравнение на получените резултати

Резултатите са получени с помощта на няколко групи студенти, специалност „ССС“, които са разработвали свой курсов проект по дисциплината „Стоманени мостове“. Предвид изследователския състав, получените резултати не могат да претендират за 100% достоверност, но могат да уловят общата тенденция.

Част от получените резултати са показани в Таблица 1.

Разликите в стойностите на разрезните усилия, получени по аналитичен и числен път, са:

– за огъващите моменти в НдГ в полето $M_{поле}$, с 2-е изключения е по-малка от 7% . Средна стойност на всички разлики – 7,76%.

- за огъващите моменти в НдГ в мястото им на снаждане с НпГ (над опората) $M_{опора}$, с 1-о изключение се оказват по-големи от тези, получени числено. Разликата в техните стойности не надвишава 45%. Средна стойност на всички разлики – 21,87%.

- за срязващите усилия Q в НдГ, с 2-е изключения е по-малка от 25 % . Средна стойност на всички разлики – 15,14 %.

- за огъващите моменти в НпГ, с 1-о изключение е по-малка от 9 % . Средна стойност на всички разлики – 6,15%.

XIII-та МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ VSU'2013
13th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE VSU'2013

- за сръзващите усилия Q в НпГ, с 1-о изключение е по-малка от 17 % . Средната стойност на всички разлики - 10,04 %.

Таблица 1. Стойности на огъващите моменти и сръзващите усилия в НдГ и НпГ

Елемент	НдГ			НпГ	
	$M_{\text{поле}}$	$M_{\text{опора}}$	Q	M	Q
Числ. модел	573,4	424	683,8	2266	1082
Аналитично	567,6	532,2	734,7	2131	1018
Разлика, %	1,02	25,5	7,44	6,32	6,23
Числ. модел	568,2	462,1	689,8	2008	1068
Аналитично	551,5	517,0	651,3	2186	1123
Разлика, %	3,04	11,9	5,91	8,88	5,15
Числ. модел	628,5	455,3	605,8	2366	1186
Аналитично	628,2	588,9	577,2	2242	1124
Разлика, %	0,06	29,34	4,94	5,54	5,50
Числ. модел	520,6	423,8	577,5	2033	1023
Аналитично	553,2	518,6	719,8	2018	1094
Разлика, %	6,26	22,36	24,64	0,73	6,90
Числ. модел	370	250	497,5	1091	644
Аналитично	380	356	669,1	1275	752
Разлика, %	2,70	42,40	34,49	16,87	16,7

Елемент	НдГ			НпГ	
	$M_{\text{поле}}$	$M_{\text{опора}}$	Q	M	Q
Числ. модел	193	173	437	1451	766
Аналитично	191	179	413	1341	709
Разлика, %	1,05	3,47	5,81	8,20	8,04
Числ. модел	673,7	568,4	606,7	1099	1093
Аналитично	490,3	459,7	714,5	1105	1005
Разлика, %	37,4	23,6	17,76	0,55	8,72
Числ. модел	349,4	266,4	593,8	1532	959,4
Аналитично	422,8	273	679,1	1565	980,6
Разлика, %	20,98	2,45	14,38	2,15	2,21
Числ. модел	534,6	344,4	554,7	1900	1057
Аналитично	526,3	493,4	712,4	1746	1454
Разлика, %	1,58	43,27	28,4	8,76	37,51
Числ. модел	565,2	447,5	693,3	1840	1085
Аналитично	545,9	511,7	644,	1904	1123
Разлика, %	3,55	14,4	7,65	3,47	3,48

3. Изводи

Сравнявайки стойностите на разрезните усилия в елементите на отворената стоманена гредоскара, биха могли да бъдат очертани следните тенденции:

- огъващите моменти в НдГ в мястото им на снаждане с НпГ (над опората) , получени по аналитичните методи, се оказват по-големи от тези, получени числено;
- разликите в стойностите на огъващите моменти и сръзващите усилия не са фрапиращи;
- предварителното определяне на сеченията на НдГ и НпГ, използвайки посочената в [1] аналитична методика, които впоследствие ще бъдат заложиени в числения модел, е напълно приемлива възможност;
- не е препоръчително да се използват само аналитични методи за определяне на усилията в елементите на гредоскара. Числен модел е абсолютно необходим.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Димитров Д., П. Стайков, Ст. Стойнов, и др., Ръководство за упражнения по стоманени мостове, София, 1976.
 [2]. Дулевски Енчо, Стоманени мостове, Второ издание, София, 2006.