



КРАЙНО-ЕЛЕМЕНТЕН ПОДХОД ЗА МОДЕЛИРАНЕ КОРАВИНАТА НА ЪГЛОВИТЕ ВРЪЗКИ НА ГЛАВНАТА ГРЕДА НА МОСТОВ КРАН

FINITE ELEMENT APPROACH TO MODELLING OF THE STIFFNESS OF THE PRINCIPAL BEAM ANGULAR CONNECTIONS OF BRIDGE CRANE

В. П. Дунчев*

Катедра "Техническа механика"
Технически Университет - Габрово

Статията е постъпила на 7 март 2013 г.; приета за отпечатване на 15 май 2013 г.

Abstract

This article presents a new model of the principal beam of bridge crane – two-supported beam having angular elastic coupling of the end cross-sections. These angular connections restrict the rotations of the end cross-sections when the beam is subjected to bending in principal inertia plane. The stiffness of these connections has been modeled by means of finite element approach and planned numerical experiment. The governing factors has been chosen as follows: the principal beam length, the moment of inertia of the cross-section, the crane base (the front beam length), the moment of inertia of torsion of the front beam cross-section. A regression analysis of the obtained experimental outcomes has been carried out. By means of this analysis the influence of the governing factors on the angular connections stiffness has been established. It is proved that the geometrical parameters of the front beams have decisive influence on the stiffness modeled. It is advisable in the algorithm of design of the bridge crane metal structure the principal beam to be modeled as two-supported beam with angular elastic connections of the end cross-sections.

Keywords: bridge crane; crane principal beam; finite element method; numerical planned experiment; regression analysis.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Мостовите кранове са технически съоръжения, които намират приложение в практически всички сфери на индустрията. От основно значение при проектирането им е рационалният избор на носещите сечения на металната конструкция. В условията на енергийна и икономическа кризи, оптималното проектиране ще зависи от съчетанието на необходимата якост, коравина и икономичност на металната конструкция.

Известни са различни конструктивни варианти за изпълнение на носещото сечение на главната греда на мостовите кранове [1- 4]. В инженерната практика най-често се използват следните пълностенни сечения: стандартно двойно-Т сечение, съставно кутиеобразно сечение или комбинация от тях. Кутиеобразното сечение е едно от предпочитаните варианти поради безспорните му предимства:

- Обезпечават относително големи стойности на огъващата коравина в двете главни инерционни равнини, инерционната характеристика на усукване, както и обща устойчивост на главната греда [1];

- Възможност за свободно композиране на напречно сечение, изградено от листов материал с различна дебелина, без ограничения, наложени от стандарти;

- Възможност за повишаване на огъвната коравина на металната конструкция посредством оребряване на главната и челните греди;

- Технологичност при изработване и монтаж на база на използване на съвременни методи за заваряване.

Посочените предимства на кутиеобразното напречно сечение на главната греда се потвърждават и от опи-

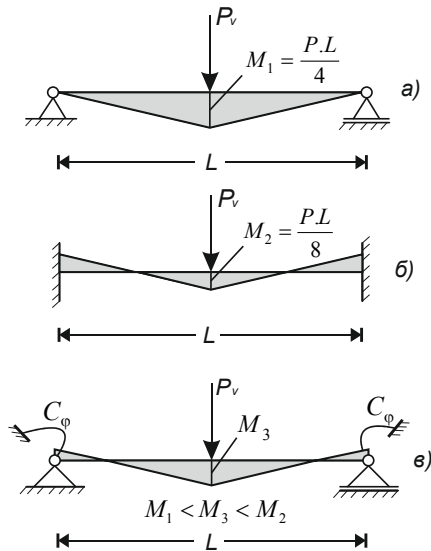
та в проектирането на металната конструкция на мостови кранове от Максимов-Консулт АД и Ремотекс Систем ЕООД - Раднево като техен производител.

Съществуват два основни подхода за проектиране на металната конструкция на мостови кранове: подход, базиран върху метода на Съпротивление на материалите [1, 5]; числени симулации посредством метод на крайните елементи [4, 6]. В съответствие с първия подход, главната греда се схематизира като греда на две ставни опори (фиг. 1а). Този подход води до съществено ѝ преоразмеряване. В противоположния граничен вариант – двустранно кораво запъната греда (фиг. 1б), – би се получило необосновано намаляване на изчислителните напрежения поради двукратно намаления огъващ момент в сравнение с първия граничен случай, както и по-малко провисване, поради завишената огъвна коравина. Очевидно е, че моделът на главната греда на едностранов мостов кран трябва да заема междинно положение спрямо двата гранични варианта. В действителност, крайните сечения на главната греда претърпяват еластични завъртания при огъване в главна инерционна равнина, които са по-малки в сравнение със случая на ставно закрепена двуподпорна греда. С други думи, в предложения нов модел, на краищата на главната греда са наложени еластични ъглови връзки (опори) (фиг. 1в). Коравината им зависи от геометричните параметри на цялата метална конструкция, включваща главна и челни греди. За коректно якостно оразмеряване е необходимо да се познават коравините на тези ъглови опори.

Основна цел на настоящото изследване е моделиране на коравината на ъгловите връзки на главната греда на база на планиран числен експеримент с оглед

* Тел.: 066827306; e-mail:vladimir_dunchev@abv.bg

осигуряване на коректен избор на напречното сечение на главната греда.

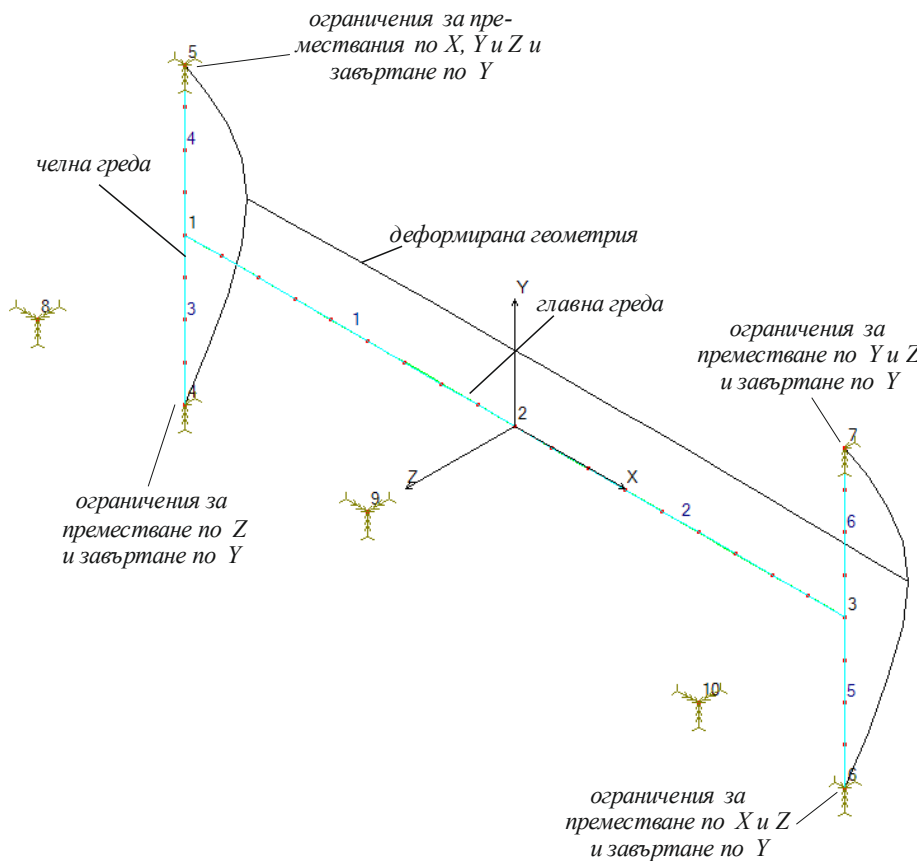


Фиг. 1 Модели на главната греда

2. ПОСТАНОВКА НА ЧИСЛЕНИЯ ЕКСПЕРИМЕНТ

За моделиране на коравината на ъгловите връзки на главната греда е проведен планиран числен експеримент. За тази цел е разработен обобщен гредови крайно-елементен (КЕ) модел на металната конструкция на мостовия кран (фиг. 2).

Поради материалната и геометрическа линейност на изследвания проблем, е проведен пълен факторен експеримент от вида 2^4 . Целевата функция е коравината на усукване на челните греди $c_\varphi = T_{\varphi z} / \varphi_{\varphi z}$, $N.m / rad$, където $T_{\varphi z}$ е усукващият момент на челните греди, а $\varphi_{\varphi z}$ е ъгловата деформация на крайните възли на главната греда в главна инерционна равнина xz от напречното ѝ сечение.



Фиг. 2 Крайно-елементен модел на гредовата конструкция

Управляващи фактори и техните нива

Таблица 1

Управляващи фактори	Нива на факторите			
	Горно ниво		Долно ниво	
	Кодирани координати	Натурални координати	Кодирани координати	Натурални координати
L, m	+1	36	-1	4.5
J_y, m^4	+1	0.00397	-1	1.36E-05
B, m	+1	6	-1	2
I_s, m^4	+1	0.00072198	-1	8.2099E-07

План на експеримента и КЕ резултати

Таблица 2

№	L, m	J_y, m^4	B, m	I_s, m^4	$T_{ч2}, N.m$	$\varphi_{ч2}, rad$	$c_\varphi, N.m / rad$
	x_1	x_2	x_3	x_4			
1	36,0	0,00397	6,0	0,000725198	241000	0,003304	72941888,62
2	4,5	0,00397	6,0	0,000725198	1430	0,00001964	72810590,63
3	36,0	1,363E-05	6,0	0,000725198	12900	0,0001769	72922555,12
4	4,5	1,363E-05	6,0	0,000725198	200	0,000002744	72886297,38
5	36,0	0,00397	2,0	0,000725198	285000	0,001304	218558282,2
6	4,5	0,00397	2,0	0,000725198	2710	0,0000124	218548387,1
7	36,0	1,363E-05	2,0	0,000725198	12900	0,00005901	218607015,8
8	4,5	1,363E-05	2,0	0,000725198	201	9,198E-07	218525766,5
9	36,0	0,00397	6,0	8,2099E-07	4250	0,014	303571,4286
10	4,5	0,00397	6,0	8,2099E-07	8,4	0,00002768	303468,2081
11	36,0	1,363E-05	6,0	8,2099E-07	10300	0,034	302941,1765
12	4,5	1,363E-05	6,0	8,2099E-07	67,2	0,0002215	303386,0045
13	36,0	0,00397	2,0	8,2099E-07	12400	0,01363	909757,887
14	4,5	0,00397	2,0	8,2099E-07	25,1	0,00002758	910079,7679
15	36,0	1,363E-05	2,0	8,2099E-07	11900	0,01307	910482,0199
16	4,5m	1,363E-05	2,0	8,2099E-07	121	0,0001329	910458,9917

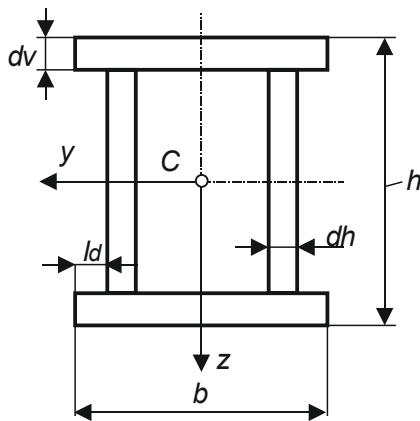
Управляващи фактори са:

- Дължина на главната греда L, m ;
- Инерционен момент на огъване спрямо ос y на

напречното сечение на главната греда J_y, m^4 (фиг. 1);

- Дължина на челните греди (база на крана) B, m ;
- Инерционна характеристика на усукване на челните греди I_s, m^4 ;

Нивата на управляващите фактори в кодирани и натурални стойности са показани в таблица 1.



Фиг. 2 Геометрични параметри на кутиеобразно напречно сечение на главната греда

3. ОБОБЩЕН КРАЙНО-ЕЛЕМЕНТЕН МОДЕЛ

3.1. Обща характеристика

За разработване на обобщения КЕ модел е използван програмен продукт COSMOS M v.5.6. В съответствие с физическия характер на изследвания обект, металната конструкция на мостовия кран е моделирана чрез BEAM 3D КЕ (фиг. 2). С цел осигуряване на коректност на числените резултати, е приет еднакъв размер за дължината на КЕ на анализирания метална конструкция. Предвид целта на изследването е проведен линеен статичен анализ на гредовата конструкция, като

е зададено гравитационно натоварване посредством ускорение по направление на ос Z с големина $g_z = -9,81 m/s^2$.

3.2. Гранични условия

Граничните условия съответстват на физическата същност на изследвания проблем. За тази цел връзката между главната греда и челните греди е корава, а на крайните възли от челните греди са зададени следните геометрични гранични условия (фиг. 2): нулеви премествания по ос Z ; нулеви завъртания по отношение на ос Y ; нулеви премествания на два едностранно разположени крайни възли от челните греди по направление на ос Y ; нулеви премествания на два диагонално разположени крайни възли от челните греди по направление на ос X .

3.3. КЕ резултати

КЕ резултати за всички експериментални точки са показани в табл. 2

4. РЕГРЕСИОНЕН АНАЛИЗ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА КОРАВИНАТА НА ЪГЛОВИТЕ ВРЪЗКИ НА ГЛАВНАТА ГРЕДА

4.1. Регресионен модел

Търсеният регресионен модел е изведен на базата на резултатите от числените симулации за c_φ , показани в табл. 2, като е използван програмният продукт QstatlabBG6:

$$\begin{aligned}
 c_\varphi = & 73165933 + 16128,729x_1 - 5179,8219x_2 - \\
 & - 36569096x_3 + 72559165x_4 + 16208,787x_1x_4 - \\
 & - 5130,9593x_2x_4 - 36265669x_3x_4 + \\
 & + 10455,463x_1x_2x_3 + 10343,843x_1x_2x_3x_4 + \\
 & + 4773,036x_1x_3 + 4778,3803x_1x_3x_4 - \\
 & - 2004,7539x_2x_3x_4 - 1777,7773x_2x_3
 \end{aligned} \quad (1)$$

За преминаването от кодирани в натурални координати се използват зависимостите:

$$x_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{0,i}}{\lambda_i} \quad (2)$$

$$\lambda_i = \frac{\bar{x}_{2,i} - \bar{x}_{0,i}}{2}, \quad (3)$$

където: x_i , $i = 1 \div 4$ са управляващите фактори в кодирани координати; $\bar{x}_{0,i}$ е долно ниво на i -тия фактор в натурални координати, $\bar{x}_{2,i}$ е горно ниво на i -тия фактор в натурални координати; $\bar{x}_{0,i}$ е средно ниво на i -тия фактор в натурални координати;

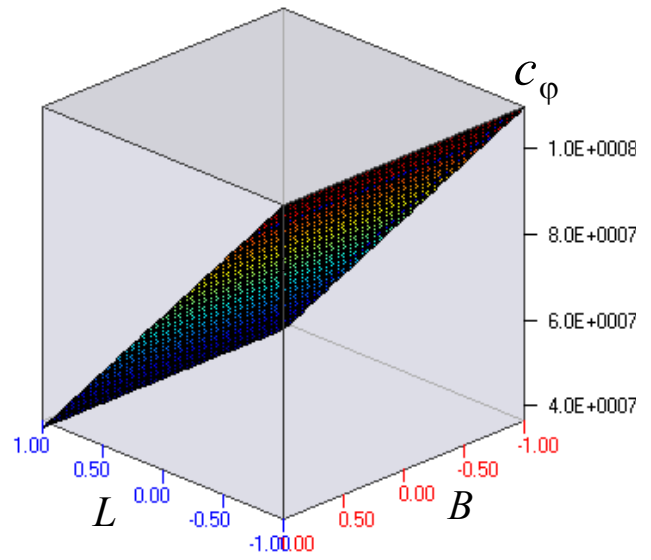
4.2. Изследване на регресионния модел

Тъй като променливите в регресионния модел са в кодирани вид, абсолютната стойност на коефициентите пред тях определя тежестта на отделните фактори и на взаимодействията помежду им (ф-ла 1).

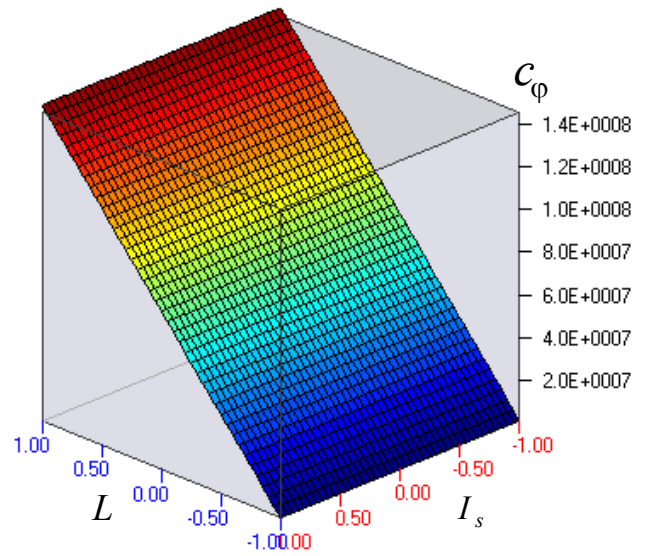
Анализирайки получения регресионен модел могат да бъдат направени следните коментари:

- От четирите управляващи фактори с най-голямо влияние върху усукващата коравина на челните греди е напречното им сечение посредством усукващият му инерционен момент I_s, m^4 ;
- Следващият по влияние фактор е дължината на челните греди B, m ;
- Геометричните параметри на главната греда влияят в най-малка степен, като най-незначително е влиянието на напречното ѝ сечение - J_y, m^4 ;
- С най-голяма тежест е взаимодействието между базата на крана и инерционната характеристика на усукване на челните греди.

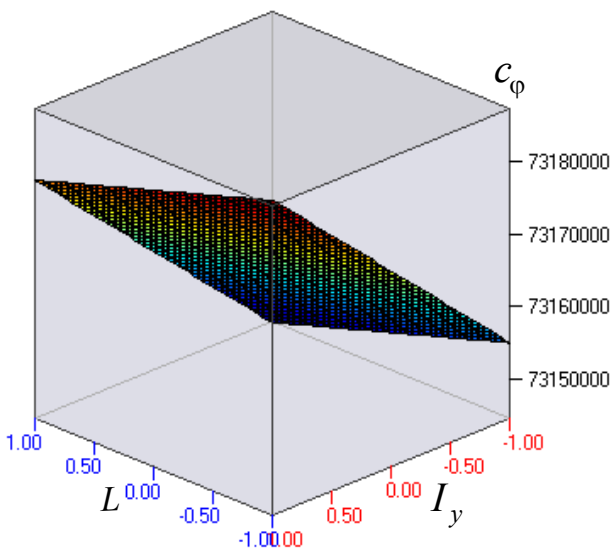
На фигура 4 са показани графики, визуализиращи влиянието на управляващите фактори върху целевата функция. Те са получени посредством сечение на хиперравнината на модела с различни равнини. Графиките представят влиянието на всяка от двойките управляващи фактори, като на другите два фактора е зададено средно ниво.



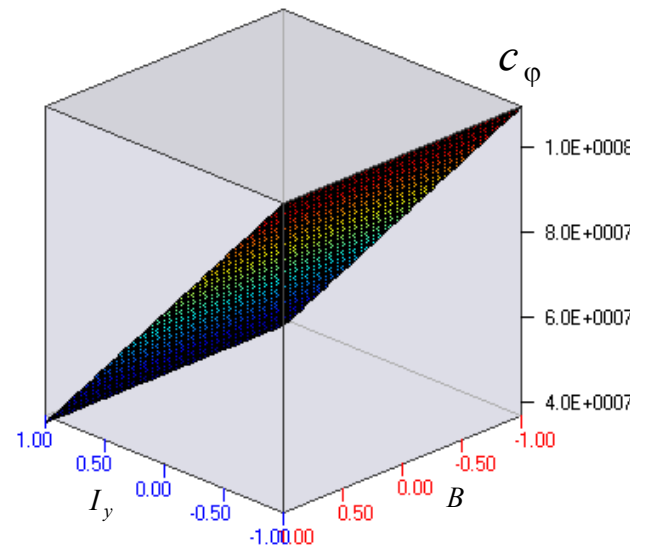
б.



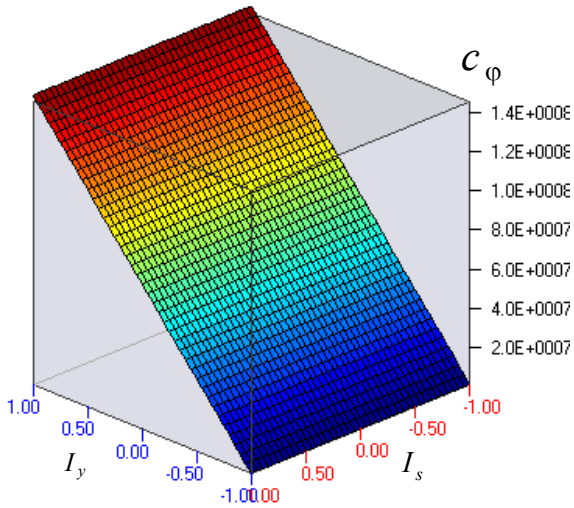
в.



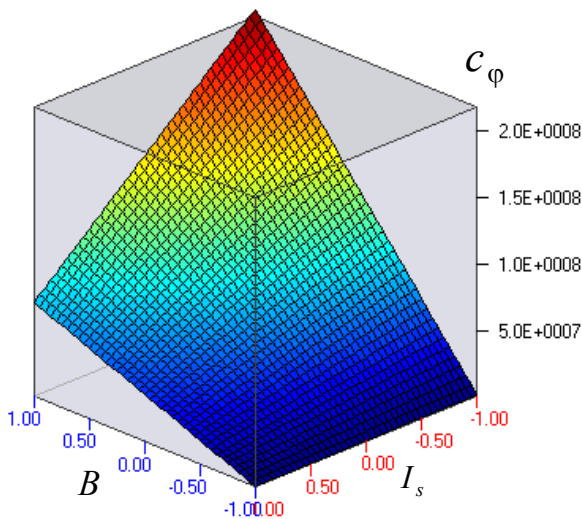
а.



з.



d.



e.

Фиг. 4 Графики, визуализиращи влиянието на управляващите фактори върху моделираната коравина

В изследваните интервали на вариране на управляващите фактори, моделираната коравина зависи в най-голяма степен от геометричните параметри на челните греди (фиг. 4e).

Следователно, колкото по-голяма е коравината на усукване на челните греди, в по-голяма степен поведението на главната греда ще се доближава до това на греда с идеално запъване и обратно – колкото по-малка е усукващата коравина на челните греди, поведението на главната греда ще се доближава до греда на ставни опори.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е обобщен BEAM 3D KE модел на металната конструкция на мостов кран с кутиеобразно напречно сечение на главната греда, на основа на който е проведен планиран числен експеримент за моделиране на коравината на ъгловите връзки на главната греда на едностранен мостов кран. На база на получените KE резултати е изведен регресионен модел за коравината на ъгловите връзки на главната греда. Доказано е, че геометричните параметри на челните греди имат определящо влияние върху тази коравина. Следователно, в алгоритъма за оразмеряване на главната греда е необходимо същата да се схематизира като греда на две опори с наложени ъглови връзки в крайните сечения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коларов И., Проданов М., Караиванов П., Проектиране на товароподемни машини, Техника, 1986.
- [2] Коларов И., Пешев П., Метални конструкции в промишлеността, Техника, 1989.
- [3] Брайнов М., Венков Л., Стоманени конструкции, Техника 1991.
- [4] Максимов Й., Стойчев Б., Метални конструкции в промишлеността, Университетско издателство на ТУ - Габрово, 2001.
- [5] Максимов Й., Съпротивление на материалите, Издателство ЕКС-ПРЕС, 2009.
- [6] Максимов Й., Дунчева Г., Анчев А., Компютърни методи за инженерен анализ Част 1: Линейна статика на гредови конструкции, Издателство ЕКС-ПРЕС, 2008.