

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯ ОТ ОБЩО И МЕСТНО НАТОВАРВАНЕ В ГЛАВНАТА ГРЕДА НА ЕДНОГРЕДОВ МОСТОВ КРАН С ТЕЛФЕР

Илия Мрянков, Емил Йончев
iliamr@abv.bg, e_ionchev@yahoo.com

**ВТУ “Тодор Каблешков”,
1574 София, ул. “Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** кран, електротелфер, тензометрия, местни напрежения, изследване, сили, Labview, система за събиране на данни*

***Резюме:** Предмет на изследването са напреженията възникващи в характерна точка от долния пояс на двойно Т-образна греда на едногредов мостов кран с електротелфер. Аналитично са определени напреженията от местно и общо огъване в избраната точка. Получени са по експериментален път напрежения от двумерното напрегнато състояние. Направен е анализ на получените резултати.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Електротелферите са едни от най-разпространените товароподемни машини. Покриват сравнително голям диапазон на товароподемности при сравнително малка собствена маса и габаритни размери. Електротелферите се делят на подвижни и стационарни. Подвижните електротелфери се използват приоритетно като подемни машини в повечето видове кранове и монорелсови пътища в нашата страна през последните две десетилетия. Движението на електротелферите се осъществява посредством телферна количка. Най-често тези колички се движат по долния пояс на горещо валцовани Т-образни профили с удебелени пояси. В определени случаи долния пояс, по който се движи количката при необходимост се усилват с допълнителна шина. Ходовите колела се правят конусни с ъгъл равен на наклона на фланшовете от пояса, при което се осъществява линеен контакт. За да се намали износването на колелата и подобри техния контакт с профила, по-често се прибегва до изработката на сферична форма на контактната площ на венца. В този случай се осъществява точков контакт.

Висящите колички, чрез които електротелферите се движат по двойния Т-образен профил, представляват твърда метална конструкция, към която се прикрепят осите на лагеруваните към тях ходови колела.

Необходимите условия за равномерно натоварване на четирите ходови колела на телферната количка с фланшовете на профила са две:

Първото условие е центъра на натоварващата сила да се намира в центъра на диагоналите на правоъгълник образуван от контактните точки на ходовите колела с фланшовете на профила. При телфери със сдвоен барабан това условие може да се постигне. При телферите с единичен барабан, а по-голямата част са такива, то не се

постига. При развиване или навиване на въжето, то се премества аксиално спрямо оста на барабана. Най-голям дисбаланс в натоварването между предните и задни колела е при най-горно и най-долно положение на куката.

Второто условие е четирите оси на ходовите колела да се намират в една равнина и на еднакво разстояние от надлъжната равнина на симетрия на телфера. Предполага се, че и четирите ходови колела имат еднакви геометрични параметри.

В местата на контакт между ходовите колела и долния фланш на двойно Т-образния профил става предаването на силите създадени от товара и телфера към главната греда на крана. Тези сили създават вътрешни усилия в металната конструкция на главната греда на крана. С тези вътрешни усилия могат да се определят стойностите на нормалните и тангенциалните напрежения за всяка точка от избрано сечение.

В местата на контакт на ходовите колела с долния пояс се създават и местни напрежения. Аналитичното определяне на големината на тези напрежения изисква познаването на методите на теорията на еластичността, което ще затрудни конструкторите в изчислителния процес. За тяхното определяне, в специализираната литература за изчисляване на метални конструкции на подемно-транспортни машини, са представени емпирични формули [1][2], с които в точки близки до мястото на контакт да бъдат изчислени с приемлива точност. Стойностите на тези местни напрежения може да бъдат значително големи и в никакъв случаи не бива да бъдат пренебрегвани.

Целта на настоящата работа е да се изследва натурно, напрегнатото състояние на характерна точка от двойно Т-образен горещовалцован профил от главната греда на едностранов мостов кран при движение на телферната количка с окачен товар.

Крана се намира в лабораторния комплекс на катедра „Подемно транспортни и строителни машини” и има следните основни параметри касаещи настоящото изследване:

- товароподемност на крана $Q=20$ kN;
- отвор на крана $L = 4$ m;
- скорост на подем $V_T = 8$ m/min;
- скорост на движение на телфера $V_T = 20$ m/min;
- разстояние между колелата на телфера $d = 0.28$ m;
- двойно Т-образен профил № 30М по ГОСТ 19425-74.

ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА

От точките, които представляват интерес за избор на сечение има само една, в която реално може да бъдат измерени напреженията. Тя се намира на долния пояс в непосредствена близост до стената на профила фиг.1. За точното определяне на главните напрежения, максималните тангенциални напрежения и техните посоки в избраната точка, е реализирана тензометрична измервателна система. Тя се състои от една фолиева тензометрична розетка, залепена върху долния пояс фиг.2, втора идентична такава, залепена върху метална планка и монтирана в непосредствена близост до основната за температурна компенсация, шест канален тензометричен усилвател, система за събиране на данни на фирмата National Instruments, виртуален инструмент за управлението ѝ и персонален компютър. Използвана е розетка тип 1-RY11-10/120, с три тензорезистора разположени един спрямо друг на ъгли $0^\circ/45^\circ/90^\circ$, производство на фирмата НВМ. Избран е този тип поради факта, че предварително се знаят приблизителното главните направления на нормалните напрежения.

Тензорезисторите от двете розетки са ориентирани по един и същи начин, техните направления са показани на фиг.2. Единият от взаимно перпендикулярните тензорезистори е ориентиран по надлъжната ос на двойно Т-образния профил и е

отбелязан с буквата (A). Другият е напречно разположен спрямо гредата и е означен с буквата (C), третия тензорезистор е означен с (B). Тези означения се използват като индекси при означаване на относителните деформации във формулите за изчисление на главните напрежения $\sigma_{1/2}$ [4]

$$(1) \quad \sigma_{1/2} = \frac{E}{1-\mu} \cdot \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \frac{E}{\sqrt{2}(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_c - \varepsilon_b)^2},$$

максималната стойност на тангенциалните напрежения τ_{\max}

$$(2) \quad \tau_{\max} = \frac{E}{2(1+\mu)} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_c)^2 + [2\varepsilon_b - (\varepsilon_a + \varepsilon_c)]^2}$$

и ъгъла φ между оста на тензорезистора (A) и направлението на главното напрежение σ_1

$$(3) \quad \varphi = \frac{1}{2} \arctg \frac{2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c}.$$

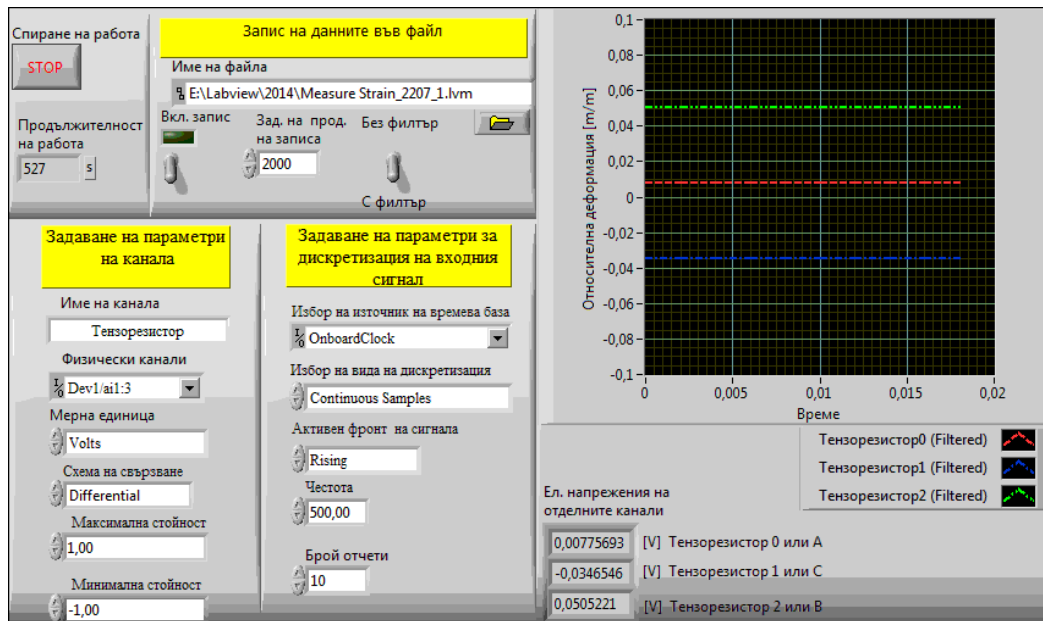


Фиг.1. Разположение на розетките върху гредата на крана



Фиг.2. Направления на тензорезисторите от розетката, спрямо моста

С едноименните тензорезистора от двете розетки са реализирани три полумостови схеми с по един активен тензорезистор. Получените сигнали от тензорезисторите вследствие деформациите в гредата се усилват от усилвателя KWS 3073 на фирма HBM. За да се предостави възможност за последваща обработка на данните същите се дискретизират и записват в персонален компютър. Това е реализирано като към изхода на тензоусилвателите са включени отделните канали от системата за събиране на данни NI USB 6211 [5], която дискретизира данните и ги предава по USB интерфейс към персонален компютър за тяхното съхранение. Същата се управлява от виртуален инструмент реализиран в програмната среда LabVIEW. Лицевият му панел е показан на фигура 3.



Фиг.3. Лицев панел на виртуалния инструмент

Предоставена е възможност за избор на различни схеми на включване на сигнала от тензоусилвателя към системата за събиране на данни, така че да се получи най-малко въздействие на смущаващите въздействия върху полезния сигнал, както и възможност за избор на обхвата на входния сигнал с цел повишаване на чувствителността на системата. Може да се избира последователността на дискретизиране на отделните физически канали, като в нашия случай е избрана тя да бъде в следния порядък, първо от тензорезистора (А), след това от (В) и накрая от (С). Избрано е да бъдат взети по десет отчета от всеки канал при честота на дискретизация 500Hz. Данните се преобразуват във физическа величина – относителна деформация, посредством получените коефициенти при калибриране на отделните канали, като е използван метода описан в предишна наша работа [6]. Получената информация се записва във формат, за лесно прехвърляне в Матлаб за последващата им обработка.

АНАЛИТИЧНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

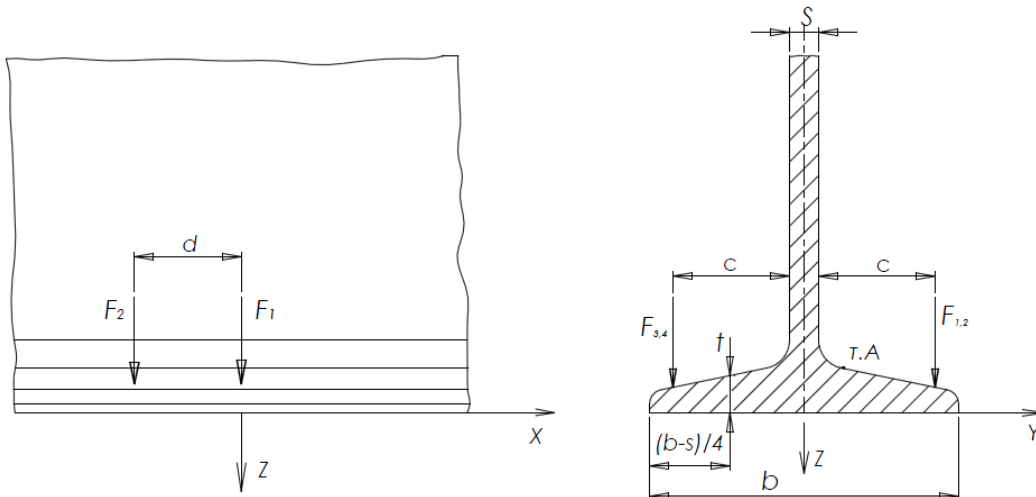
При преминаване на ходовите колела през сечението включващо точка А, възникват местни напрежения от огъване $\sigma_{m,x}^A$ в равнината xz , които се определят от израза

$$(4) \quad \sigma_{m,x}^A = k_x \frac{F}{t^2}$$

и местни напрежения от огъване $\sigma_{m,y}^A$ в равнината xy , които се определят от израза

$$(5) \quad \sigma_{m,y}^A = k_y \frac{F}{t^2},$$

където t е средната дебелина на пояса, а коефициентите k_x и k_y са във функция от отношението $\xi = c/a$ и се определят графично [1].



Фиг. 4 Схема на натоварването от подвижни сили

Напреженията от общо огъване в същото сечение се определят от формулата

$$(6) \quad \sigma_x^A = \frac{M_y}{J_y} z_A$$

където M_y е огъващия момент в същото сечение, J_y е геометричния момент на сечението, а z_A е отстоянието на т. А от нулевата линия.

Еквивалентното напрежение в така оформилото се двумерно напрегнато състояние следва да бъде определено чрез енергетичната теория, защото тя дава много добри резултати за жилаво-пластични материали. Използва се зависимостта

$$(7) \quad \sigma_{екв} = \sqrt{(\sigma_x^A + \sigma_{m,x}^A)^2 + (\sigma_{m,y}^A)^2 - (\sigma_x^A + \sigma_{m,x}^A) \cdot \sigma_{m,y}^A}$$

В таблица 1 са представени изчислените напрежения при последователното преминаване на двете ходови колела на телферната количка.

Таблица 1

F_i	$\sigma_{m,x}^A$	$\sigma_{m,y}^A$	σ_x^A	$\sigma_{екв}$
N	N/m ²	N/m ²	N/m ²	N/m ²
$F_1=1780$	$5.1 \cdot 10^6$	$15.8 \cdot 10^6$	$12.5 \cdot 10^6$	$16.1 \cdot 10^6$
$F_2=3210$	$9.2 \cdot 10^6$	$28.5 \cdot 10^6$	$12.6 \cdot 10^6$	$25.9 \cdot 10^6$

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

От предварителни изчисления се установи разпределението на натоварването на предните и задните ходови колела на телфера $F_{1/2}$, при височина повдигане на товара 0,5 m показано в таблица 1, което е в съотношение 36% към 64%. Резултатите от измерването показват по-различно разпределение на силите $F_{1/2}$ показано в таблица 2 и е в съотношение 27% към 73%.

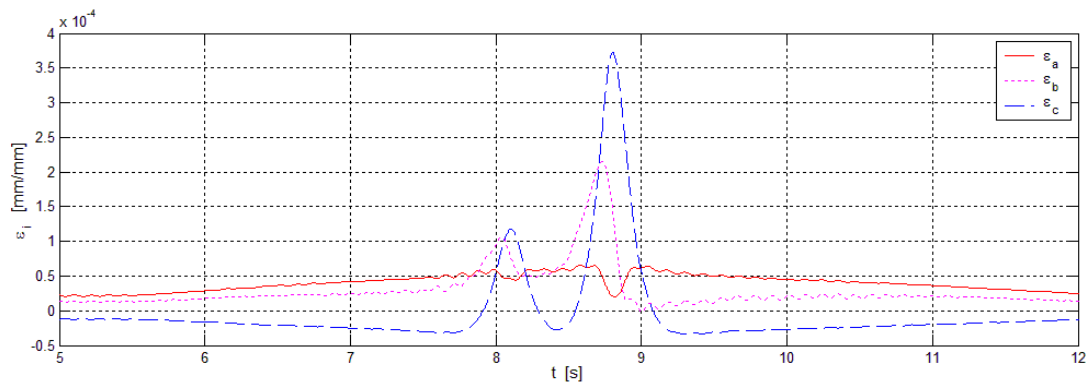
Таблица 2

F_i	$\sigma_{m,x}^A$	$\sigma_{m,y}^A$	σ_x^A	$\sigma_{екв}$
N	N/m ²	N/m ²	N/m ²	N/m ²
$F_1=1780$	$3.9 \cdot 10^6$	$12.1 \cdot 10^6$	$12.5 \cdot 10^6$	$14.8 \cdot 10^6$
$F_2=3210$	$10.5 \cdot 10^6$	$32.5 \cdot 10^6$	$12.6 \cdot 10^6$	$28.4 \cdot 10^6$

За да има равномерно разпределение необходимо условие е и четирите ходови колела да контактуват в четири точки лежащи в една равнина. Това зависи от заложената точност при конструирането на количката и точността на изработка на детайлите и тяхното сглобяване. Телферните колички са твърди конструкции и практически не допускат деформации в работния диапазон на натоварване. Това обуславя появата на неравномерно натоварване върху колелата, което в най-лошия случай ще доведе до триточков контакт.

Тази неравномерност не се отчита в изчислителните модели, представени в техническата литература и може да доведе до появата на напрежения надвишаващи избраните допустими. Този проблем може да се преодолее с въвеждането на коефициент на неравномерно натоварване в ходовите колела чийто, диапазон на изменение да бъде статистически определен след проведено изследване.

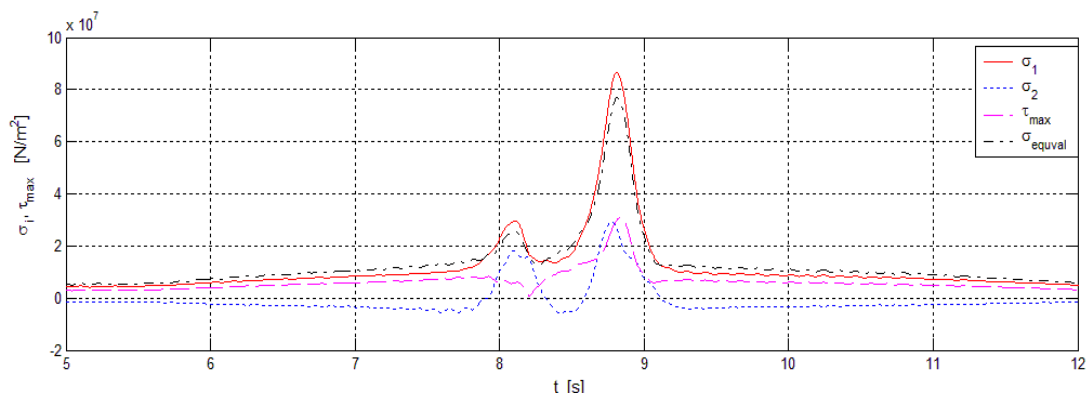
На фиг.5 са показани диаграмите на относителните деформации измерени от трите тензопреобразуватели при движение на количката с товар 70 kN. Двата пика в деформациите са от преминаване на двете ходови колела през сечението на измервателната розетка.



Фиг. 5 Диаграма на относителните деформации ε_a , ε_b и ε_c

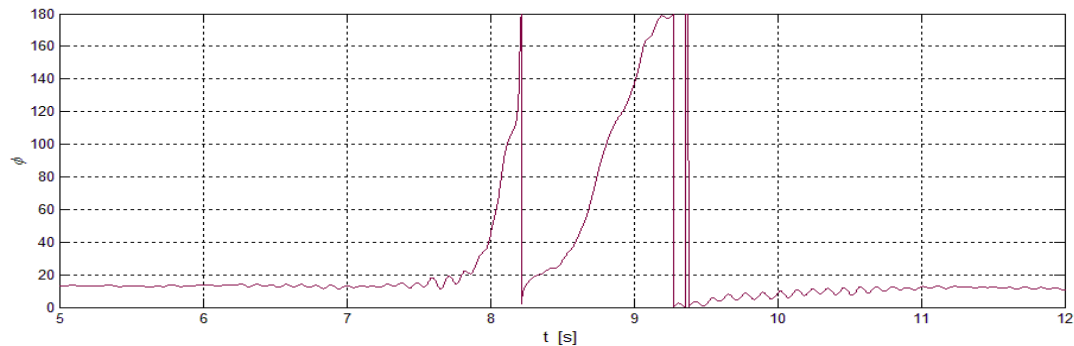
На записа се вижда, че деформациите възникват бързо и също така бързо затихват, което потвърждава принципа на Сен Венан. Разстоянието между ходовите колела на телферната количка е на минималния размер d (фиг.4) и напреженията, които възникват в точка А в следствие на деформациите от местно натоварване не се сумират.

Диаграмите от фиг.6 са получени след обработка на експерименталните данни и показват изменението на главните напрежения $\sigma_{1/2}$ по формула (1) и максималното тангенциално напрежение τ_{max} . Еквивалентното напрежение $\sigma_{екв}$ е определено по енергетичната теория.



Фиг. 6 Диаграма на главните напрежения $\sigma_{1/2}$, τ_{max} и еквивалентното напрежение $\sigma_{екв}$

От получените резултати се вижда, че измерените напрежения значително превишават изчислените напрежения от местно огъване по формули (4) и (5). Напреженията от общо огъване са задоволително близки. Изменението на ъгъл φ между тензорезистор (А) и главното напрежение σ_1 при движеща се количка е показана на фиг.7.



Фиг. 7 Диаграма на ъгъл φ между тензорезистор (А) и главното напрежение σ_1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено е изследване на напрежения от общо и местно натоварване в главната греда на едногредов мостов кран с телфер.

Отчетена е разлика между измереното и изчисленото разпределение на натоварването в ходовите колела на телферната количка. Този проблем може да се преодолее с въвеждането на коефициент на неравномерно натоварване в ходовите колела чийто, диапазон на изменение да бъде статистически определен след проведено изследване.

Измерените напрежения от местно огъване в точка А от фиг.4 значително превишават изчислените напрежения по формули (4) и (5).

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Коларов Ив. и др., “Проектиране на товароподемни машини“, Техника, София, 1986 (Kolarov Iv. i dr., “Ploektirane na tovaropodemni mashini”, Tehnika, Sofia, 1986)
- [2] Гохберг М. М., “Металлические конструкции подъемно-транспортных машин“, Машиностроение, Ленинград, 1969 (Gohberg M. M., “Metallicheskie konstrukcii podemno-transportnax mashin”, Mashinostroenie, Leningrad, 1969)
- [3] Кисьов Ив., “Съпротивление на материалите“, Техника, София, 1978 (Kisiov Iv., “Saprotivlenie na materialite”, Tehnika, Sofia, 1978)
- [4] www.hbm.com, Strain gauges and accessories, pp.12
- [5] <http://see.ni.com/>
- [6] Йончев Е., Ил. Мрянков, Относно метод за калибриране на тензометрична измервателна система, Годишник на Технически Университет - София, Том 63, книга 5, 2013, ISSN 1311-0829, стр. 297 (Ionchev E., Il. Mryankov, Otnosno metod za kalibrirane na tenzometrichna izmervatelna sistema, Godishnik na Tehnicheski Uniwersitet - Sofia, Tom 63, kniga 5, 2013, ISSN 1311-0829, str. 297)

INVESTIGATION OF THE TENSIONS OF GENERAL AND LOCAL LOADING IN THE MAIN BAULK OF THE SINGLE – GIRDER OVERHEAD TRAVELLING WITH AN ELECTRIC HOIST CRANE

Iliya Mryankov, Emil Iontchev
iliamr@abv.bg, e_iomchev@yahoo.com

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

Key words: *crane, electric hoist, strain gauges, local tensions, investigation, forces, Labview, data acquisition*

Abstract: *The paper studies the tensions occurring in the characteristic point of bottom zone of double T cross-section of a single – girder overhead travelling with an electric hoist crane. The tensions of local and general bending are analytically determined at the selected point. The tensions from the two-dimensional stressed state are obtained experimentally. The results are analyzed.*