

ПРОЕКТИРАНЕ И ПРЕСМЯТАНЕ НА КОНСТРУКЦИЯТА НА СТЕНД ЗА ИЗПИТВАНЕ НА ВАГОННИ ТАЛИГИ

Ненчо Георгиев Ненов

nnenov@vtu.bg

**ВТУ “Т. Каблешков” - София 1574,
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: вагонни талиги, изпитване

Резюме: Проектиран, разработен, изследван и внедрен е стенд за изпитване на вагонни талиги в „Трансвагон” АД гр. Бургас. Най-общо са представени теоретичните основи на метода на крайните елементи и методиката на компютърното моделиране при решаване на инженерни задачи за напрегнато и деформирано състояние. Извършено е проектиране на металната конструкция на стенда, якостни и деформационни пресмятания на конструкцията с тримерен модел по метода на крайните елементи с помощта на програмата *Cosmos Design Star*.

Въведение

При производството на вагонни талиги е необходимо те да бъдат окачествени и изпитани съгласно изискванията на стандарта EN 13775-4:2004 [1], който детайлно описва технологията и режимите на натоварване.

За решаване на тази задача, за нуждите на “Трансвагон” АД Бургас е проектиран и разработен стенд с компютърно управление на режимите на натоварване и изпитване, измерване и регистриране на силите в колелата на талигата и геометричните параметри. Посредством хидравлична система и двойнодействащ хидроцилиндр, монтиран в масивна метална рамка, се реализират предписаните режими на натоварване в централния болт на талигата. Натоварването на колелата се измерва от сензори за сила от релсов тип, вградени в двете релсови нишки в средата на металната конструкция на стенда. Релсовият път на стенда е изграден върху рамка от масивни метални профили, с оглед гарантиране на достатъчна коравина. Последната е строго хоризонтирана и неподвижно закрепена към пода на помещението.

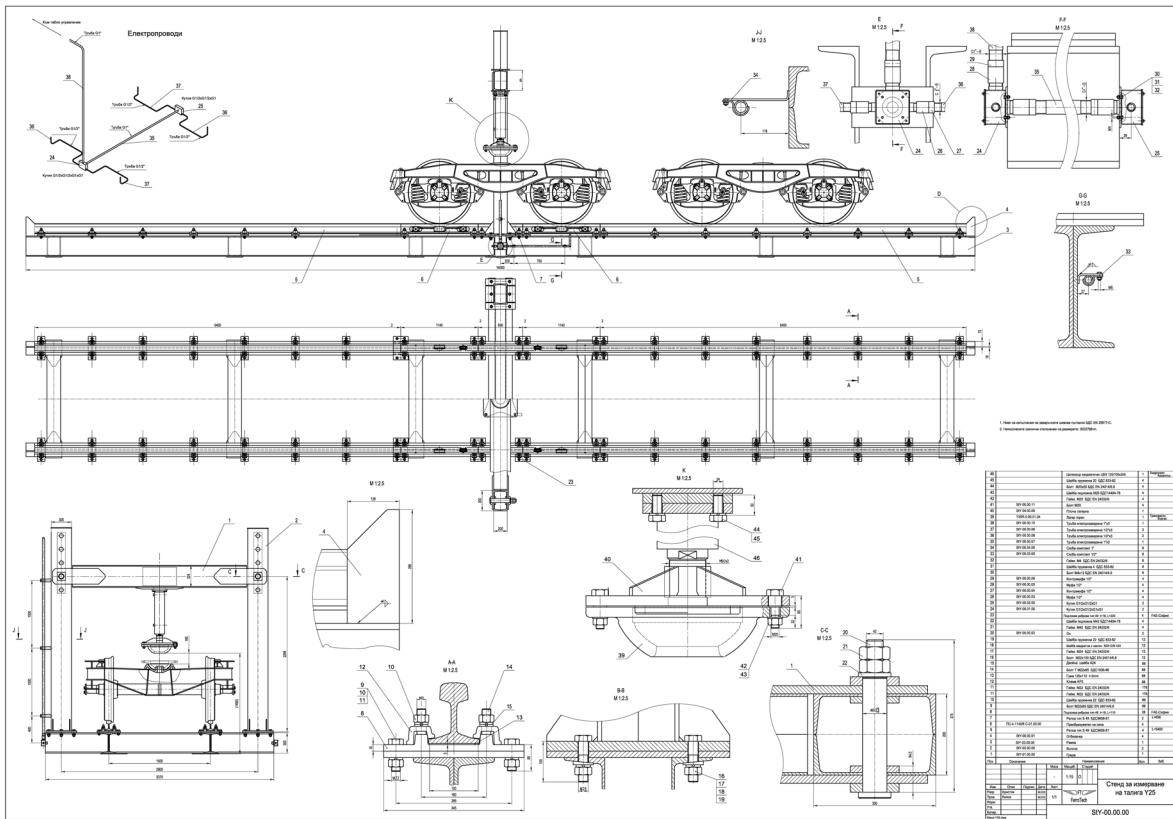
Цялостната метална конструкция на стенда е изградена от стандартни профили. Общият вид на чертеж на стенда е показан на фиг. 1.

По-важните технически данни са:

- ширина - 3370 мм;
- дължина - 7000 мм;

- височина - не по-малко от 2000 мм.
- максимална стойност на силата на натоварване в централния болт на талигата - 200 kN.

За извършване на якостните пресмятания на металната конструкция на стенда е създаден тримерен модел, отчитащ в максимална степен реалните параметри на металната конструкция. Анализът е извършен по метода на крайните елементи (МКЕ) с помощта на програмата *Cosmos Design Star* [2].



Фиг. 1

Принципната постановка на МКЕ, при решаване на задачи от теория на еластичността за определяне на напрегнатото и деформираното състояние на деформируемо тяло, се състои в минимизиране на потенциалната енергия на системата под действие на приложени външни товари и определяне на преместванията, от които следва определяне на деформациите и напреженията [2].

Пълната потенциална енергия на еластична система се определя от израза:

$$P = U - W \quad (1)$$

където: U - потенциална енергия на деформациите, а W – работа на външните сили.

В зоната на линейните деформации, изразът за потенциалната енергия U за обем V има вида:

$$U = \frac{1}{2} \int_V \{\epsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (2)$$

където $\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z \gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx}]$ - транспонирана матрица на деформациите, а матрицата стълб на напреженията има вида:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zy} \end{Bmatrix}.$$

Връзката между относителните деформации и преместванията при малки деформации, съгласно уравнението на Коши се дават във вида:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (3)$$

където u, v, w - премествания съответно по направление на координатните оси x, y, z .

Работата на външните сили се определя от израза:

$$W = W_c + W_p + W_b, \quad (4)$$

където:

$W_c = \{u\}^T \{F\}$ - работа на съсредоточените сили (сили във възлите), която се определя като произведение на транспонираната матрица на преместванията на точките и матрицата на съсредоточените сили;

$W_p = \int_S \{u\}^T \{p\} dS$ - работа на повърхностните сили, която се определя след

интегриране по повърхността S на произведението на транспонираната матрица на преместванията на точките и матрицата на интензитета на повърхностните сили;

$W_b = \int_V \{u\}^T \{R_V\} dS$ - работа на обемните сили, която се определя след

интегриране по обема V на произведението на транспонираната матрица на преместванията на точките и матрицата на обемните сили.

По своята същност МКЕ се състои в представяне на непрекъснатата физическа среда чрез недеформируеми крайни елементи, за които се въвежда математически функционал - сума от множество елементарни линейни функции, описващи връзките между крайните елементи чрез коефициенти. При задаване на ограничителните условия и стойностите за факторите, управляващи параметъра, се търсят и определят стойностите на неизвестните коефициенти на функционала, графично и числено се изобразяват решенията. Практически е доказана висока степен на съответствие между реалната метална конструкция, която се моделира и компютърната симулация с МКЕ.

Методиката на компютърното моделиране гарантира висока точност, скорост и минимална цена, с което се обезсмисля използването на традиционни методи на проектиране и пресмятане от миналото.

В качеството на параметър в проведените изследвания по МКЕ се използват преместванията, деформациите и напреженията в металната конструкция.

Теорията на крайните елементи, в частта ѝ за моделиране на якостта на физически тела, се основава на четвъртата енергетична якостна теория, която е доразвита в редица съвременни теоретични разработки.

Според теорията на крайните елементи, в частта ѝ за якост, големината на еквивалентното напрежение има стойността:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}, \quad (5)$$

където $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ са главните напрежения по трите главни оси.

В общия случай напреженията $\sigma_{екв}$ са свързани с деформациите $\{\varepsilon\}$ в рамките на зоната на еластичността съгласно закона на Хук и връзката се описва с равенството:

$$\sigma_{екв} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (6)$$

където $[D]$ е матрицата на еластичността.

Основните данни за носещите елементи на металната конструкция на стенда са следните показани в таблица 1.

Таблица 1

| № | Елемент | Материал | Маса | Обем |
|---|----------|----------|---------|----------------|
| - | - | - | kg | m ³ |
| 1 | Греда | S275JR | 570.081 | 0.0721621 |
| 2 | Колона 1 | S275JR | 304.865 | 0.0385905 |
| 3 | Рама | S275JR | 1134.83 | 0.143649 |
| 4 | Ос 1 | S275JR | 7.37112 | 0.000933053 |
| 5 | Ос 2 | S275JR | 7.37112 | 0.000933053 |
| 6 | Колона 2 | S275JR | 304.883 | 0.0385928 |

Като краен елемент се използва тетраедър с три степени на свобода за всеки възел и дванадесет степени на свобода за всеки елемент.

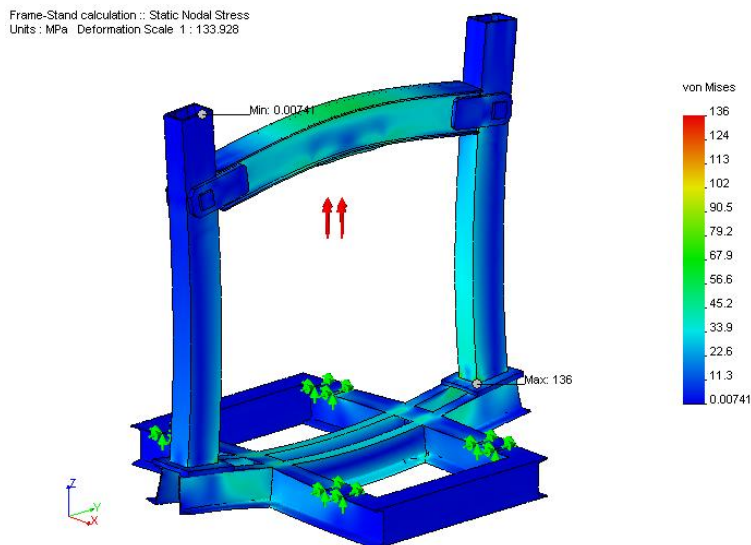
Параметрите на мрежата на дискретизация са съответно брой на елементите – 104172 и брой на възлите - 206780.

Конструкцията на стенда е натоварена със сила от 200 kN, равномерно разпределени по площта на опората на хидравличния цилиндър. Опорните реакции са приложени в точките на допирание на бандажите на колелата към релсите.

Получените максимални стойности на напреженията за съответните зони са показани в таблица 2, а визуализация на напрегнатото състояние на металната конструкция е показана на фиг.2.

Таблица 2

| № | Напряжения | Min | Зона | Max | Зона |
|---|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Еквивалентни напряжения | 0.00741227 MPa Възел: 64889 | (-0.005 m, -1.30625 m, 0.799354 m) | 135.729 MPa Възел: 190557 | (0.1 m, 1.3 m, -1.84855 m) |
| 2 | SX: Нормално напряжение по X | -55.8629 MPa Възел: 75741 | (0.0666667 m, -0.65 m, -2.197 m) | 38.1623 MPa Възел: 156322 | (-0.05 m, -0.65 m, -1.897 m) |
| 3 | SY: Нормално напряжение по Y | -85.5371 MPa Възел: 17374 | (0.00393733 m, -0.0857561 m, 7.72155e-015 m) | 65.8077 MPa Възел: 74550 | (-0.1 m, -0.85 m, -2.197 m) |
| 4 | SZ: Нормално напряжение по Z | -58.7812 MPa Възел: 192956 | (-0.1 m, 1.6 m, -1.84845 m) | 144.306 MPa Възел: 190557 | (0.1 m, 1.3 m, -1.84855 m) |
| 5 | P1: Главно напряжение 1 | -18.3756 MPa Възел: 31908 | (-0.0231763 m, 0.0713292 m, -4.47027e-010 m) | 155.05 MPa Възел: 190557 | (0.1 m, 1.3 m, -1.84855 m) |
| 6 | P2: Главно напряжение 2 | -34.7888 MPa Възел: 17374 | (0.00393733 m, -0.0857561 m, 7.72155e-015 m) | 38.5932 MPa Възел: 190612 | (-0.1 m, 1.31667 m, -1.865 m) |
| 7 | P3: Главно напряжение 3 | -90.6219 MPa Възел: 17374 | (0.00393733 m, -0.0857561 m, 7.72155e-015 m) | 30.7812 MPa Възел: 190614 | (-0.0833333 m, 1.3 m, -1.865 m) |

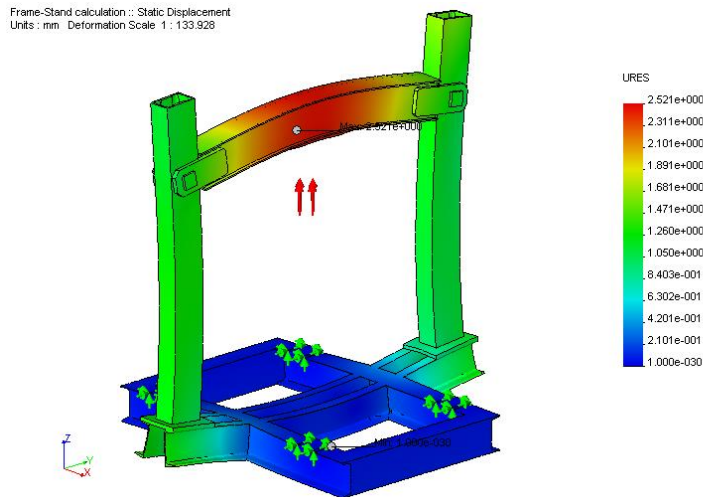


фиг. 2

Максималните стойности на деформациите са показани в таблица 3, а примерна визуализация на разпределението им - на фиг. 3.

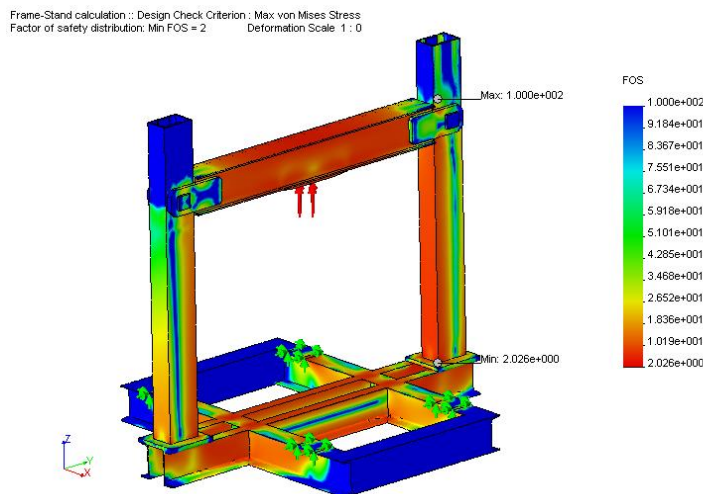
Таблица 3

| № | Деформация | Min | Зона | Max | Зона |
|---|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | URES: Деформация | 0 mm Node: 78808 | (1 m, -0.65 m, -1.877 m) | 2.52089 mm Node: 17770 | (-0.135 m, -0.0164744 m, 0.041 m) |
| 2 | UZ: Деформация по ос Z | -0.123968 mm Node: 76450 | (0.2 m, 2.22045e-016 m, -1.897 m) | 2.49015 mm Node: 17770 | (-0.135 m, -0.0164744 m, 0.041 m) |
| 3 | UY: Деформация по ос Y | -0.352112 mm Node: 178829 | (-0.1 m, 1.5 m, -1.23615 m) | 1.08291 mm Node: 178365 | (0.074 m, 1.45 m, 0.849 m) |
| 4 | UX: Деформация по ос X | -0.000343911 m Node: 81001 | (-0.1 m, -1.66 m, -2.197 m) | 0.000357516 m Node: 80952 | (0.1 m, -1.675 m, -2.197 m) |



фиг. 3

На фиг. 4 е изобразен коефициентът на сигурност като отношение на граница на провлачване към еквивалентното напрежение.

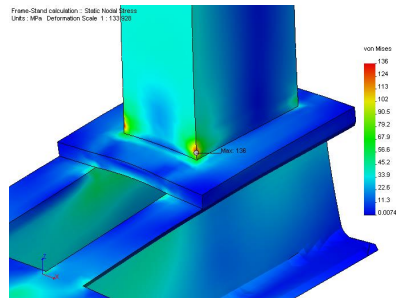


фиг. 4

Заклучение

Максималните стойности на еквивалентните напрежения достигат до 136 МРа и са в зоната на заварката на колоната към опорната греда (фиг. 5), но

стойностите им са два пъти по-ниски от границата на провлачване за стомана S275JR.



фиг. 5

Максималните деформации достигат до стойност 2,5 mm и са в средата на централната греда.

На базата на получените числени резултати може да се счита, че металната конструкция на стенда е правилно оразмерена и е в състояние да понесе разчетните натоварвания.

Използването на компютърни продукти, основани на числено решаване на инженерни задачи в областта на конструирането и пресмятането на сложни метални конструкции, позволява бързо, сравнително лесно и удобно да се осъществи разработването на необходимия проект, с гарантирана якост на конструкцията и без излишен преразход на материали.

Литература

- [1] Евронорма EN 13775-4:2004
- [2] Хаджийски В., С. Стефанов, Компютърен инженерен анализ на машинни елементи, П., УХТ Пловдив, 2007, 103 с.
- [3] CosmosWorks Help