



---

## **ИЗСЛЕДВАНЕ НАПРЕЖЕНИЯТА В ГЛАВНАТА ГРЕДА НА ЕДНОГРЕДОВ МОСТОВ КРАН С ТЕЛФЕРНА КОЛИЧКА С МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ**

**Илия Мрянков**  
[iliamr@abv.bg](mailto:iliamr@abv.bg)

*гл.ас., д-р, ВТУ “Тодор Каблешков”, София*  
*1574, ул. “Гео Милев” 158*  
**БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** кран, телфер, метод на крайните елементи, местни напрежения, изследване, сили*

***Резюме:** Метода на крайните елементи позволява изграждането на сложни изчислителни модели. Изграден е модел чрез програмния продукт SolidWorks. Изследвани са напреженията, които възникват в характерни точки от главната греда на едногредов мостов кран с телферна количка. Направен е анализ на получените резултати.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Метода на крайните елементи (МКЕ) в настоящото време се явява стандарт при решаване на задачи от механиката на деформируемото твърдо тяло, посредством на числените алгоритми.

Програмите за якостен анализ на базата на метода на крайните елементи позволява с достатъчна оперативност да оценяват носещата способност на изделие, без да се опират на аналитичните и полуаналитични зависимости. Реализирането на пресмятанята с програми в рамките на геометричното моделиране, става обичаен инструмент на конструктора и прави инженерния якостен анализ практически неизбежен. Симулационните им възможности предоставят съкращаване или при определени обстоятелства замяна на натурните изпитвания за сметка на компютърните симулации.

Анализът с метода на крайните елементи дава надеждна числена техника за анализиране на инженерни проекти. Процесът започва със създаване на геометричен модел. След това програмата разделя модела на малки части с проста форма (елементи) свързани в общи точки (възли). Програмата с метода на крайните елементи разглежда модела като мрежа от дискретни вътрешно свързани елементи.

МКЕ допуска, че поведението на всеки елемент се изменя по специфичен известен начин при различни условия. Методът с крайните елементи предсказва поведението на модела чрез манипулиране на получената информация от всички елементи съставлящи модела.

Обект на изследването е едностранен мостов кран с товароподемност  $Q=20kN$  и отвор  $L=4 m$  с телфер движещ се по долния пояс на горещо валцуван двино Т-образен профил с одebelени фланшове, който играе ролята на главна греда. Ходовите колела на телферната количка имат точков контакт с фланшовете на профил. Точковия контакт реализиран от големи сили, а такива са в по-голямата си част силите с които работят подемните съоръжения, създават относителни големи местни напрежения в мястото на допир и сечението в което е разположена. Настоящата работа няма за задача да изследва напреженията в самата точка на контакт, а тези в които са в близост и са предизвикани от деформации създадени от местни огъващи моменти. За определяне на тези напрежения в специализираната литература са представени емпирични формули [1].

Целта на представената работа е да се изследват напреженията около зоната на контакт между ходовите колела на телферната количка и фланшовете на двойно Т-образния профил, чрез 3D модел на главната греда на крана с помощта на програма за якостен анализ на базата на метода на крайните елементи.

## ИЗГРАЖДАНЕ НА МОДЕЛА

Модела е изграден чрез програмния продукт SolidWorks. Точността на резултатите от изследването в определена степен зависят от сложността на модела. Изчистването на модела от елементи, нямащи пряко отношение към резултатите от изследването, ще осигури по голя ресурс съсредоточен в основните елементи на изследването и повишаване точността на получените резултати. Достатъчно е да се пристъпи към моделиране само на главната греда на крана, чиито геометрични форми напълно да отговаря на реалния обект и определят местата и вида на опорните реакции. Както бе споменато по-горе, няма да бъде обект на изследване напреженията в мястото на контакт между ходовите колела на телфера и главната греда на крана. Мястото на контакт е представено като площадка с определен диаметър, през която се предава силата от колелата. Диаметъра на площадката зависи от големината на контактните напрежения, които се определят от формулата на Херц за точков контакт

$$(1) \quad \sigma_{ki} = a \sqrt[3]{\frac{F_i E_{np}^2}{r_{\max}^2}}$$

В това уравнение  $a$  е коефициент зависещ от отношението на радиусите  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$  [2].  $F$  е предаваната сила, а  $E_{np}$  е приведеният модул който зависи от модулите на линейна деформация на ходовото колело и профила и се определя от израза

$$E_{np} = \frac{2 E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$$

Приблизителния диаметър на площадката се определя от зависимостта

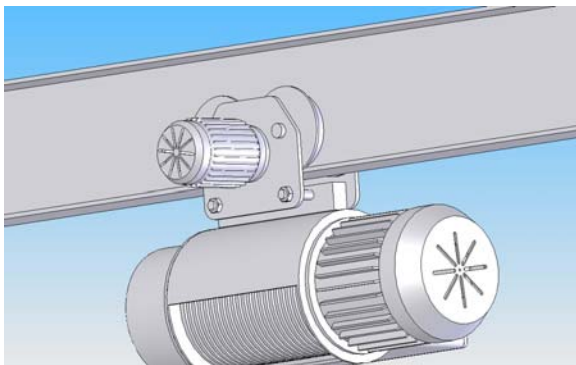
$$(2) \quad d_i = 2 \sqrt{\frac{F_i}{\pi \sigma_{ki}}}$$

При телферите с единичен барабан, а конкретния телфер е такъв, натоварването в двете двойки съосни ходови колела не е еднакво. При развиване или навиване на въжето, то се премества аксиално по оста на барабана. Най-голям дисбаланс в натоварването между предните и задните е при най-горно и най-долно положение на куката. При изследването са прилагани следните сила в двойките колела  $F_1 = 6.4kN$  и  $F_2 = 3.6kN$ .

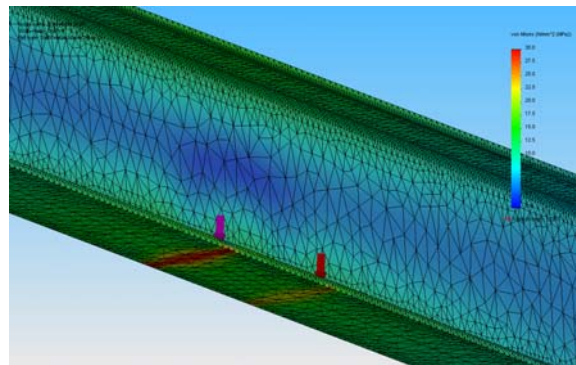
Замрежването е много критичен етап в последващият анализ. Автоматичният замрежвател в SolidWorks създава мрежа за модела като има предвид неговия обем,

околна повърхнина и други геометрични подробности. Размер на елемента варира в рамките на предварително установени граници. Структурата на създадената мрежа зависи от геометрията и размерите на модела и големината на отделните елементи с оглед тяхното коректно подрежда. В ранния етап на анализа, където приблизителните резултати биха били задоволителен може да се избере голям размер на елементите за по-бързо решение. За по-точно решение се изискват елементи с по-малък размер.

Програмите за якостен анализ може да създадат 3D обемни тетраедърни елементи или 2D триъгълни тънкостенни елементи. Триъгълните тънкостенните елементи естествено са подходящи да моделиране на тънкостенни детайли с постоянни дебелини (ламарина). Използването на тетраедрите в замрежването на тънкостенни детайли може да бъде много неефективно заради големия брой елементи, които може да се създадат. Двойно Т-образния профил, не би трябвало да се разглежда като тънкостенен, защото напреженията от горната и долната страна на фланшовете са различни и прехода между фланшовете и стената са изпълнени със закръгления.



Фиг.1 3D Модел



Фиг.2 Замрежване на главната греда

За обемна мрежа, с която се замрежва нашия модел, точност се постига най-добре чрез еднакви тетраедърни елементи, чиито краища са равни по дължина. За цялата геометрия не е възможно да се създадат перфектни четиристенни елементи. Поради малките ръбове, извита геометрия, тънки стени и остри ъгли, някои от генерираните елементи могат да имат ръбове много по-дълго, отколкото други. Когато краищата на елемент стават много различни по дължина, точността на резултатите се влошава. По дефиниция, пропорцията на перфектен тетраедърни елемент е 1,0. Проверката за съотношение се използва автоматично от програмата за проверка на качеството на мрежата.

При замрежването на изследвания обект, програмата позволява да се изберат два вида обемни тетраедърни елементи: линейни, наричани елементи от първи ред и параболични наричани елементи от втори ред или елементи от по-висок ред.

Един линеен тетраедърен елемент се дефинира чрез 4 ъглови възли съединени с 6 прави ръбове. Параболичният тетраедър се дефинира чрез 4 ъглови възли, 6 средни възела по 6-те ръба. За една и съща плътност на мрежата (един и същ брой елементи и възли) параболичните елементи дават по-добър резултат спрямо линейните елементи, защото те могат да описват криви гранични повърхнини по-точно и дават по-добра математическа апроксимация. Но параболичните елементи изискват по-голям ресурс за изчисления отколкото линейните елементи. За нашия модел като е взета пред вид неговата специфика са избрани параболичните елементи, с които ще се осигури по-голяма точност на резултатите.

Програмата предлага главно две опции за подобряване на точността на резултатите:

- Генериране на допълнителни елементи с по-малки размери (h-метод). Може да се използва този метод ръчно, чрез прогресивно намаляване размерите на елементите (и/или използване на контрол на мрежата) и сравняване на резултатите докато се достигне конвергенция;

- Използване на полиноми от по-висок ред при формулиране на елементите (p-метод). Този процес се автоматизира и след всеки цикъл програмата оценява общите и местните грешки и решава дали да направи друг цикъл основан на определени входни критерии.

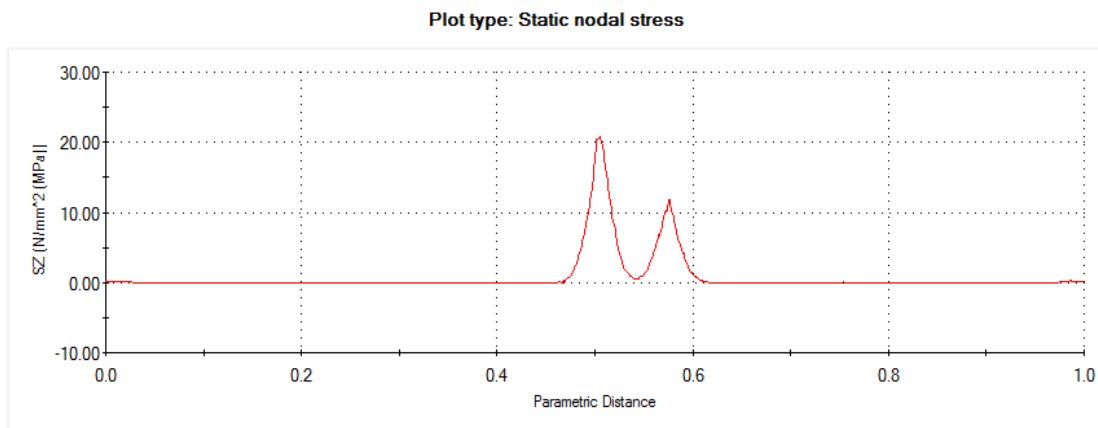
В нашето изследване е използван p-адаптивен метод за решение, защото позволява да се контролира грешката на различни параметри на модела.

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Замрежване на модела е извършено с параболични тетраедърни обемни елементи от втори и по-висок ред. Параметрите на мрежата след направената дискретизация са съответно брой елементи - 102956 и брой възли - 189075.

На фиг.2 е показана част от главната греда на крана и нейното замрежване. Виждат се натоварващите сили в местата на контакт. Използването на параболични тетраедърни елементи позволява изградения модел максимално точно да пресъздаде повърхнините в местата на закръгленията, такива каквито са при реалния двойно T-образен профил, което е предпоставка за по-голяма точност на резултатите.

Напреженията  $\sigma_z$ , които се явяват нормални спрямо стената на профила и се намират в горната равнина на фланша в зоната на прехода, са показани на фиг.3. Тяхната големина бързо намалява с отдалечаване от зоната на контакт и имат локален характер. На представените по-долу графики на напреженията, по абсцисната ос е представено отстоянието на текущото напрежение от началото на главната греда.

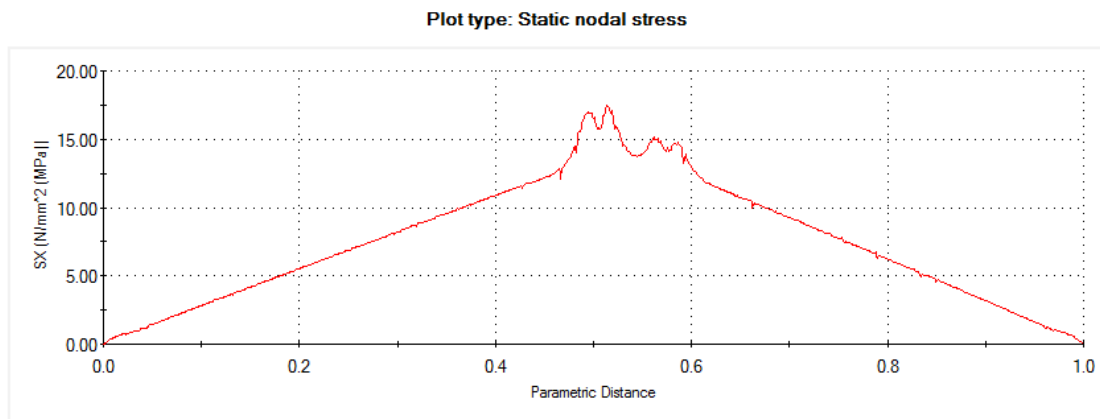


Фиг.3 Нормални напрежения  $\sigma_z$

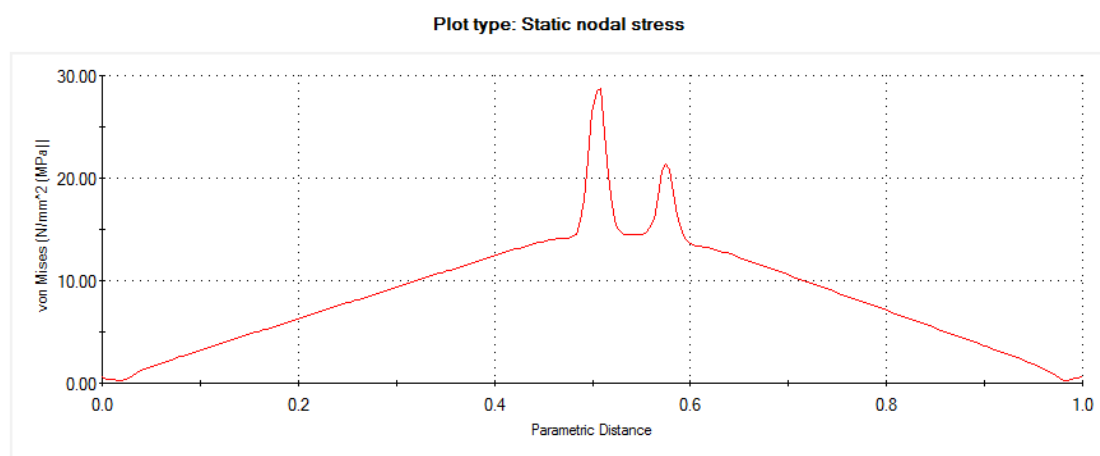
Нормалните напреженията  $\sigma_x$ , успоредни на оста на гредата и разположени в същата зона, описана по горе са показани на фиг.4. Те са създадени от общия огъващ момент на товара, а в зоната на контакт се сумират с напреженията от местното огъване.

В долната равнина на профила в мястото на пресичане с предната равнина на стената, се създават напрежения от местно и общо натоварване и тяхната еквивалентна стойност  $\sigma_{екв}$  определена по четвърта якостна теория е показана на фиг.5.

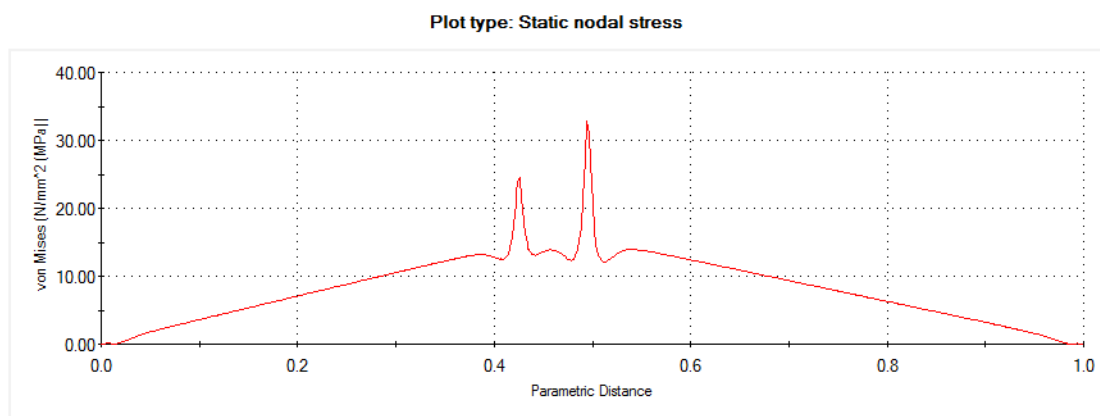
Представени са и еквивалентните напрежения на фиг.6 от долния преден ръб на фланша на профила.



**Фиг.4** Нормални напрежения  $\sigma_x$



**Фиг.5** Нормални напрежения  $\sigma_{ек6}$



**Фиг.6** Нормални напрежения  $\sigma_{ек6}$

От стойностите на графиките се вижда, че напреженията от общото огъване, в определени случаи са съизмерими с тези от местното огъване. Това е особено важно за кранове с главна греда от двойно Т-образен горещовалцован профил, монорелсови пътища и пътища за висящи кранове изградени със същият тип профили, чиито опори са поставени на малко отстояния. В тези случаи допустимите моменти от общо огъване в профила се достигат с по-големи сили, което ще увеличи дела на напреженията от

местното огъване. Пренебрегването на тези напрежения ще влоши сигурността на подемните съоръжения и правилното им функциониране.

**ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Гохберг М. М., “Металлические конструкции подъемно-транспортных машин“, Машиностроение, Ленинград, 1969
- [2] Коларов Ив. и др., “Проектиране на товароподемни машини“, Техника, София, 1986
- [3] Трифонов Т., Счетоводен анализ на фирмата, ИК Сиела, София, 2000
- [4] Алямовский А., “Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation“, ДМК Пресс, Москва, 2010
- [5] SolidWorks Simulation 2009 Online User’s Guide, SolidWorks Corp., 2012

**STUDY STRESSES IN THE MAIN BEAM OF SINGLE GIRDER  
BRIDGE CRANES TELFER TROLLEY FEM**

**Iliya Mryankov**  
[iliamr@abv.bg](mailto:iliamr@abv.bg),

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia 1574, 158 Geo Milev Street,  
BULGARIA*

**Key words:** *crane, hoist, finite element method, local stresses, study, forces*

**Abstract:** *Finite element method allows the construction of complex computational models. Built model by the software SolidWorks. They were studied stress that arise in characteristic points of the main beam of single girder overhead crane with hoist trolley. An analysis of the results.*