

## СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АНАЛИТИЧНИТЕ И CAD-CAE МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОНТАКТНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В САЧМЕНИТЕ ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ МИННИТЕ РОТОРНИ БАГЕРИ

Цветан Дамянов<sup>1</sup>, Николай Дичев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: zld47@mgu.bg;

<sup>2</sup>FAM-България, София, e-mail: nddichev@yahoo.com

**РЕЗЮМЕ.** Изследвани са аналитично контактните напрежения между сачмите и лагерните гривни от опорния кръг на багер SRs 2000 експлоатиран в условията на Мини „Марица изток“ ЕАД. Получените резултати са сравнени с тези от извършения CAD-CAE анализ на същия обект. Направени са изводи относно възможностите за използване на двата метода за изчисления при ремонт и реконструкция на изследваната лагерна опора.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ANALYTICAL AND CAD-CAE METHODS FOR DETERMINATION OF CONTACT STRESS IN THE ROLLING BEARING USED FOR ROTOR MINING EXCAVATORS

Tsvetan Damyanov<sup>1</sup>, Nikolay Dichev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: zld47@mgu.bg

<sup>2</sup>FAM-Bulgaria, Sofia, e-mail: nddichev@yahoo.com

**ABSTRACT.** This article deals with analytical way of analysis of contact stresses between the balls and bearing rings for supporting base of excavator SRs 2000 operated under the conditions of Mini Maritsa Iztok EAD. The results were compared with those from the CAD-CAE analysis on the same problem. The results are compared and there are conclusions about the possibilities of using both methods of calculation in the repair and reconstruction of the excavator support.

### Увод

В открития добив на полезни изкопаеми много често се използват добивно транспортни системи с непрекъснато действие. В най-голямото минно предприятие за открит въгледобив у нас тези системи са развити на базата на мощни високопроизводителни роторни багери от серията SRs 2000. В конструкцията на багерите от този вид между механичните части от горния и долен багерен строеж има един елемент, който представлява лагерна опора, изградена като аксиален търкалящ се сачмен лагер. тази лагерна опора (опорен кръг) позволява ротационно движение между двете части на багера, като понася голямо статичното и динамично натоварване при работа на машината. Експлоатационната сигурност на цялата машина зависи в голяма степен от правилното оразмеряване на елементите на опорния кръг, което може да стане ако се познава добре големината и разпределението на напреженията в областите на контакт при търкаляне на сачмите в каналите на лагерните гривни.

### Предпоставки

В теорията и практиката оразмеряването на този тип лагери става по методики, основаващи се на теорията на

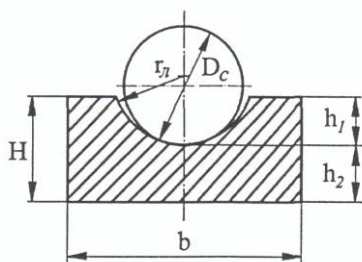
Херц-Беляев. За да се определят аналитично контактните напрежения ще бъдат направени следните предположения:

- Натоварването върху всички лагерни тела е равномерно разпределено;
- Обект на изследване е опорен аксиален едноредов лагер с диаметър на кръга на търкаляне 10 m и 192 броя сачми с диаметър на сферата на търкаляне 150 mm;
- Най-голямата стойност на разпределената сила  $F_c$  върху една сачма е определена при база на тегло на горния багерен строеж 10 400 kN;
- При изместен център на тежестта и работно натоварване при копаене -  $F_c = 115$  kN.

### 3. Аналитично определяне на контактните напрежения

На фигура 1 е показан напречен разрез на контактната двойка.

Характерно за условията на търкаляне в този случай е, че радиусът на кръговия канал е по-голям от този на сачмата и е нормиран както следва [2, INA]:



Фиг. 1 Геометрични параметри на лагерна гривна и сачма

$h_1 = 0,2D_c$  (mm) - височина на реборда на лагера, избира се по конструктивни съображения ;  
 $r_f = 0,525D_c$  – радиус на канала за търкаляне на съчмата.

Височината  $h_2$  е височина на напречното сечение под сачмата до основата на лагерния пръстен. Тя се избира след пресмятане на контактната якост по формулите на Herz - Беляев, ползвани от фирма "INA", производител на лагери. Максимално контактно напрежение  $P_{max}$  се определя от

$$P_{max} = \frac{1}{\xi \eta} \sqrt[3]{\frac{3FE^2(\sum K)^2}{8\pi^3(1-\nu^2)^2}}, N/mm^2 \quad (1)$$

Където  $a$  е полуос на елипсовидната контактна площадка,

$$a = \xi \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu^2)}{E \sum K}}, mm \quad (2)$$

$b$  е втората полуос на елипсовидната контактна площадка,

$$b = \eta \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu^2)}{E \sum K}} \quad (3)$$

$\sum K$  е коефициент, чиято стойност зависи от кривините на контактуващите тела,

$$\sum K = \frac{2}{d_w} (2 - S) \quad (4)$$

$$S = \frac{d_c}{2r_a} \quad (5)$$

Величините  $\xi, \eta$  се определят от справочни таблици [2, INA], а константите  $E$  и  $\nu$  са известни –

$E = 2,1 \cdot 10^5, N/mm^2$  – модул на еластичност;

$\nu = 0,3$  - коефициент на Поасон

За числения пример, който се разглежда :

$$\sum q = F_c = 115 \text{ kN};$$

където:

$a = 15,324 \text{ mm}$  -

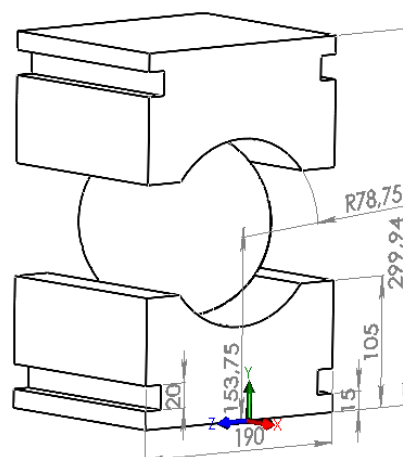
$b = 2,135 \text{ mm}$

$$P_{max} = \frac{1,5 \cdot \sum q}{\pi \cdot a \cdot b} = \frac{1,5 \cdot 115000}{3,14 \cdot 15,324 \cdot 2,135}, \frac{N}{mm^2}$$

$$P_{max} = 1679 \frac{N}{mm^2}$$

На фигура 2 е показан общият вид на изследвания CAD-CAE модел, за който е характерно следното:

- Началото на координатната система е разположено върху долната стена на лагерната гривна;
- Пълно ограничение на степените на подвижност е задаено на долната гривна;
- Натоварването  $F_c$ , което се понася от една сачма е приложено спрямо горната гривна (Фиг. 3,4)
- Контактното петно между гривните и сачмата се моделира с геометрични параметри (размери на полуосите  $a$  и  $b$ ), които са предварително изчислени по ф-ли 2 и 3

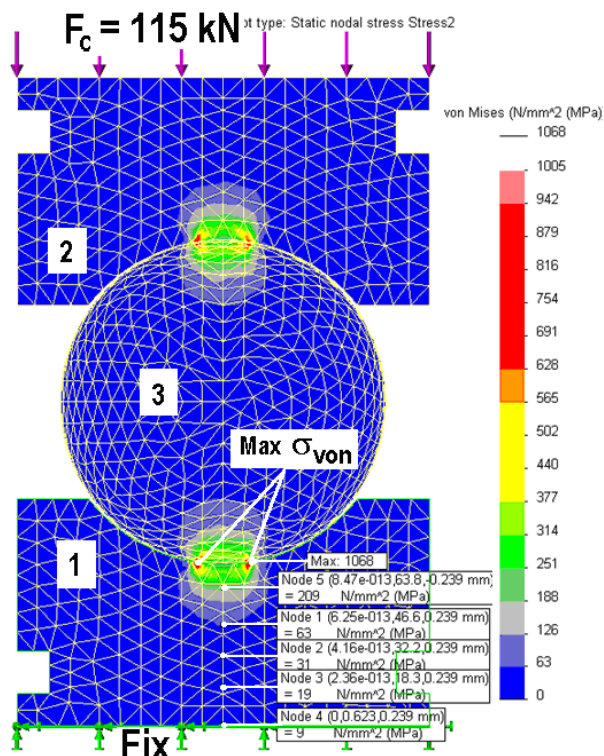


Фиг. 2 Общ вид на контактните елементи от CAD-модела..

## Резултати и изводи

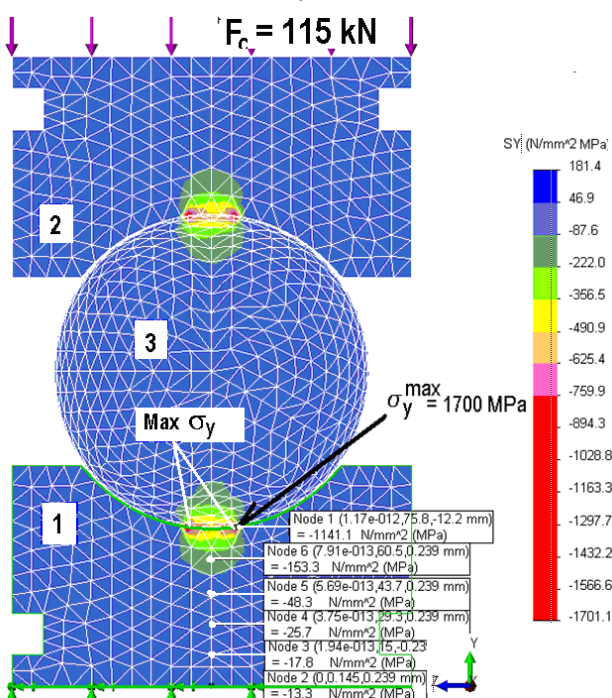
Компютърното приложение на метода на крайните елементи, с което е реализиран представения по-нататък структурен деформационно-напреженов FE-анализ е програмата COSMOS Works, а 3D-CAD-моделът е създаден със SolidWorks 2008.

На фигура 3 е показано разпределението на еквивалентните напрежения в дефинираното сечение. Могат да се локализируют областите, в които те са максимални – това са границите на контактната площ по голямата ос на елипсата. Възлите и максималните стойности на тези напрежения се генерират автоматично.



Фиг. 3 СAE-модел с резултати за еквивалентните напрежения в сечение през центъра на сачмата по von Miises.

На фигура 4 е показано разпределението на нормалните напрежения в същото сечение. Тук, както и на фиг.3 са измерени програмно освен максималните, допълнително с инструмента „PROBE“ и стойностите на напреженията в пет допълнителни точки в избраните възли, които са разположени по моста Y на координатната система.



Фиг. 4 СAE- модел с резултати за нормалните напрежения в сечение през центъра на сачмата по ос Y -  $\sigma_y$ . Тези стойности са ситематизирани и групирани в таблици 1 и 2 отделно за еквивалентните и за нормалните напрежения.

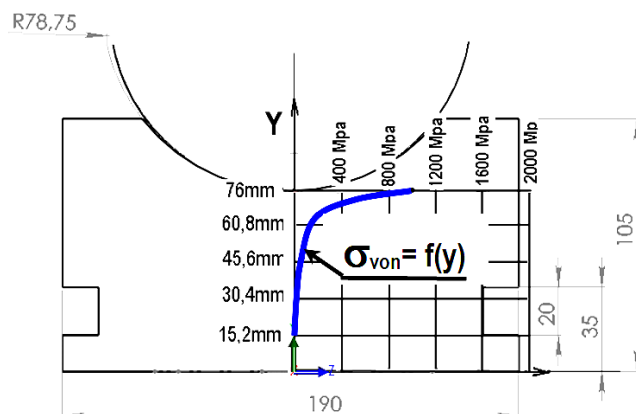
Таблица 1

| Т. №                             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 (контакт) |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Y, mm                            | 0.0   | 18.3  | 32.2  | 46.6  | 63.8  | 76          |
| $\sigma_{von}$ , MPa             | 9     | 19    | 31    | 63    | 209   | 1076        |
| $\sigma_{von}/P_{max}$ (безразм) | 0.005 | 0.011 | 0.018 | 0.037 | 0.124 | 0.64        |
| $P_{max}$                        | -     | -     | -     | -     | -     | 1679        |

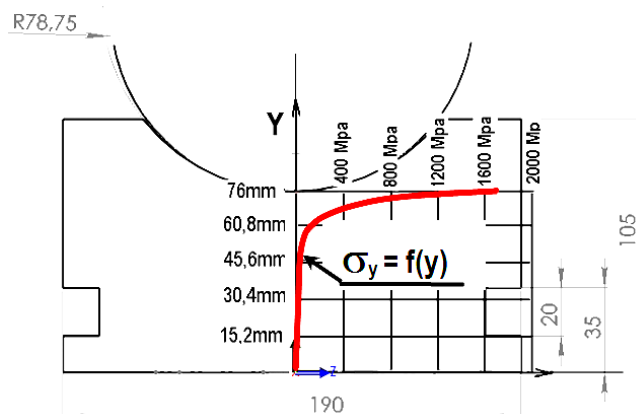
Таблица 2

| Т. №                         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 (контакт) |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Y, mm                        | 0.0   | 15    | 29.2  | 43.8  | 60.5  | 76          |
| $\sigma_y$ , MPa             | 13    | 17    | 25.6  | 48.3  | 153   | 1701        |
| $\sigma_y/P_{max}$ (безразм) | 0.007 | 0.010 | 0.015 | 0.026 | 0.091 | 1.01        |
| $P_{max}$                    | -     | -     | -     | -     | -     | 1679        |

В двете таблици са изчислени и безразмерните стойности на измерените напрежения. Получените резултати за изменението на напреженията по оста Y на КС в напречното сечение позволяват да се представи графично градиента на спадане както на еквивалентното напрежение, така и на компонентите (нормални и тангенциални напрежения)



Фиг. 5 Функция на изменение на еквивалентното напрежение  $\sigma_{von}$  от разстоянието до контактната повърхност.



Фиг. 6 Функция на изменение на еквивалентното напрежение  $\sigma_{von}$  от разстоянието до контактната повърхност.

## Заклучение

Получените резултати за напреженията в областта на контакт между сферичен търкалящ се елемент и тороидален канал на лагерната гривна са близки до аналитично получените по методика за пресмятане, която се базира на теорията на Херц-Беляев и се използва от всички производители на такива лагери. Това дава основание да се задълбочат изследванията за определяне разпределението на напреженията и в други характерни сечения в ранината ХУ на координатната система. Така може да се прецизира границата за допустимо намаляване на дебелината лагерните гривни. Трябва да се отбележи също, че предложеният метод за моделно изследване на деформации

и напрежения, базирано на метода на крайните елементи може да се разпространи и към други конструкции на лагерни опори, като такива с двуредови сачмени или ролкови лагери.

## Литература

- Eschmann, Hasbargen, Weigang, Ball and Roller Bearings. Theory, Design, and Application., Muenchen, Wien, R.Oldenburg Verlag, 1985  
INA, Technisches Taschenbuch INA Walzlager Schaeffler, KG, 1992  
Kurth Friedrich. Stahlbau. and 1. Berlin VEB VERLAG-TECHNIK, 1972.

*Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините“, МЕМФ*