



---

## СИМУЛАЦИОННО КОМПЮТЪРНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХИДРОСТАТИЧЕН АКСИАЛЕН ЛАГЕР НА КОНУСНА ТРОШАЧКА ТИП "КУБРИЯ" ЧРЕЗ МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Николай Переновски, Живко Илиев,  
[perenovski@abv.bg](mailto:perenovski@abv.bg), [halkopirit@abv.bg](mailto:halkopirit@abv.bg),

*Минно–геоложки Университет „Св. Иван Рилски“  
гр. София, 1700, ул. Проф. Боян Каменов  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** *обогатителни машини, хидростатичен аксиален лагер, конусни трошачки, метод на крайните елементи, компютърен флуиден анализ*

**Резюме:** *В настоящата статия е направена компютърна симулация на хидростатичен аксиален лагер чрез флуидно изследване на работата на поддържащата хидравлична система. Извършен е анализ на получените резултати и са дадени препоръки относно получаването на оптимални температурни параметри на хидростатичния аксиален лагер.*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Конусните трошачки се прилагат за разтрошаване на всички видове материали с изключение някои особено пластични (съдържащи глини) или изключителни твърди като например ферохром. Разрушаването на късовете в тези трошачки е много ефективно и се основава на процесите огъване и смачкване. За разлика от челюстните трошачки процесът трошене при тях се извършва непрекъснато, като във всеки момент има зона, в която материалът се троши и зона, от която се разтоварва.

Процесът трошене при конусните трошачки се осъществява в трошачното пространство заградено от два конуса – подвижен и неподвижен. Вътрешният конус извършва трептеливо кръгово движение, в резултата на което образувателните на двата конуса ту се приближават, ту се отдалечават. По такъв начин конусната трошачка може да бъде разгледана като съставена от безкраен брой елементарни челюстни трошачки работещи последователно.

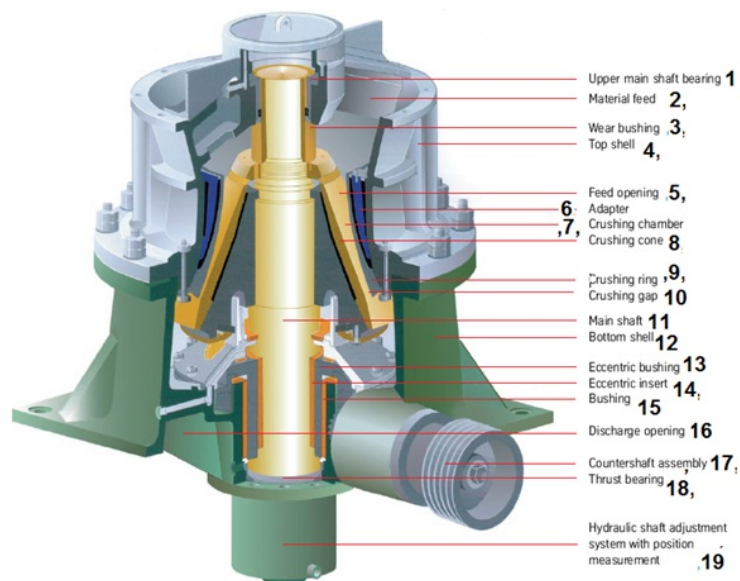
Работния процес във всяка зона на трошене протича по следния начин:

- през времето на половината оборот, когато неподвижният конус се приближава към вътрешната повърхнина, неподвижният материал се уплътнява и разтрошава. През втората част от оборота на подвижния конус, когато той се отдалечава от неподвижния конус, разтрошеният материал се разтоварва. Във всеки момент зоните на разтоварване на материала са разположени диаметрално противоположно една спрямо друга и се изместват непрекъснато по посоката на въртенето на подвижния конус [2, 3, 4].

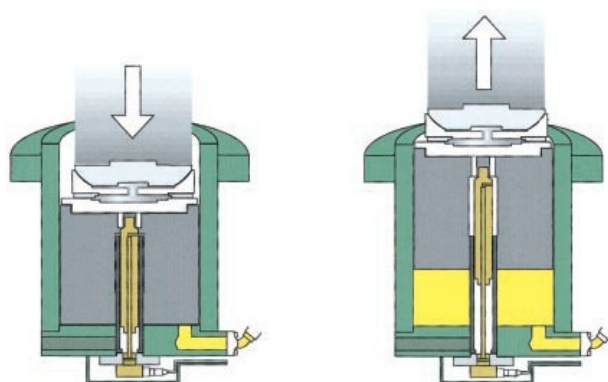
## 2. ОСОБЕНОСТИ НА ХИДРОСТАТИЧНИТЕ ЛАГЕРИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ КОНУСНИТЕ ТРОШАЧКИ

Използването на хидростатични лагери в съвременните конусни трошачки е модерна и успешно прилагана тенденция. Основно предимство на хидростатичните лагери е голямата им носеща способност при осигурено течно триене в широк скоростен диапазон, както и при нулевата скорост [1]. Тази характеристика на хидростатичните лагери прави успешно прилагането им в петовите опорни лагери на конусните трошачки. Такъв лагерен възел е вграден в трошачките тип KUBRIA на фирма Круп. Показан е на фигура 1 със следните елементи:

- 1-горен лагер на подвижния конус; 2 – захранващ отвор, 3- защитна втулка; 4-горен корпус с траверса; 5 -входящ отвор; 6-пълнеж; 7-трошачна камера; 8-подвижен конус; 9-облицовка на подвижния конус; 10-разтоварващ отвор; 11-вал на подвижния конус; 12-долен корпус; 13-ексцентрик, 14-вътрешна втулка, 15-втулка, 16-отвор за разтоварване, 17-ремъчна шайба, 18-аксиален лагер, 19-хидравлична система.



Фиг.1 Общ вид на конусна трошачка



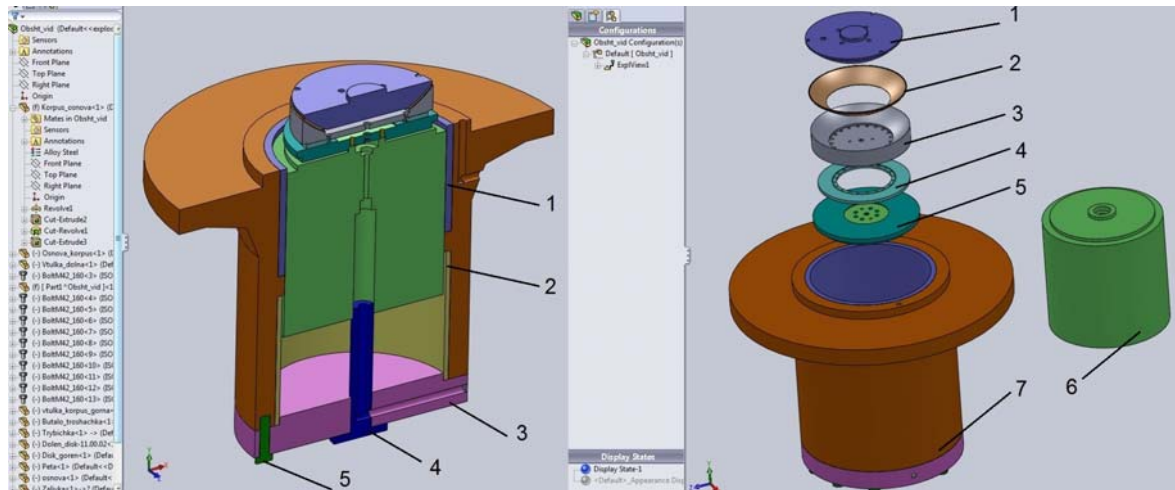
Фиг.2 Хидравлична подпорно-предпазна система на трошачката

На фигура 2 е показана хидравличната подпорно-предпазна система на конусната трошачка тип „Кубрия“. Тя представлява аксиален самонагаждащ се хидростатичен лагер и се състои от бутало, хидравличен цилиндър, датчик за преместване и хидравлично легло. В първото положение буталото се намира в

неработен режим. Когато се намира в горно положение, под буталото се подава масло, и то издига буталото нагоре за осъществяване на нормален работен процес на трошачката.

На фигура 3 е представен разрез на 3D модел на хидравлична подпорно-предпазна система на конусна трошачка за средно трошене състоящ се от следните елементи: 1,2 – цилиндрови втулки, 3- дъно, 4 – централен маслен тръбопровод и 5 – скрепителни елементи.

Изобразеният разглобен вид на 3D (фиг.3) модела на хидростатичния лагер е съставен от следните части: 1- пета; 2 – заливка; 3- сферичен лагер; 4 – диск горен; 5 – диск долен; 6 – бутало и 7- цилиндър.



Фиг.3 Разрез на 3D модел и разглобен вид на хидравличната подпорно-предпазна система

### 3. СИНТЕЗ НА КОМПЮТЪРНИЯ МОДЕЛ НА ХИДРОСТАТИЧНИЯ ЛАГЕР

Синтезът на модела е направен посредством използване на софтуерния продукт за 3D моделиране “SolidWorks”. За компютърната флуидна симулация е ползван интегрирания модул „FloWorks“. С цел намаляване на времето за симулация са извършени следните опростявания на модела:

- премахнати са всички скрепителни елементи;
- цилиндъра и цилиндровите втулки са обединени в монолитно тяло;
- заливката и петата са моделирани като един елемент;
- премахнати са уплътнителните и маслосъбирателните пръстени на буталото.

Всички вътрешни кухини и повърхности съответстват геометрично на размерите на реалната машина, като външния диаметър на буталото е  $\varnothing 690$  mm и височината му е 680 mm.

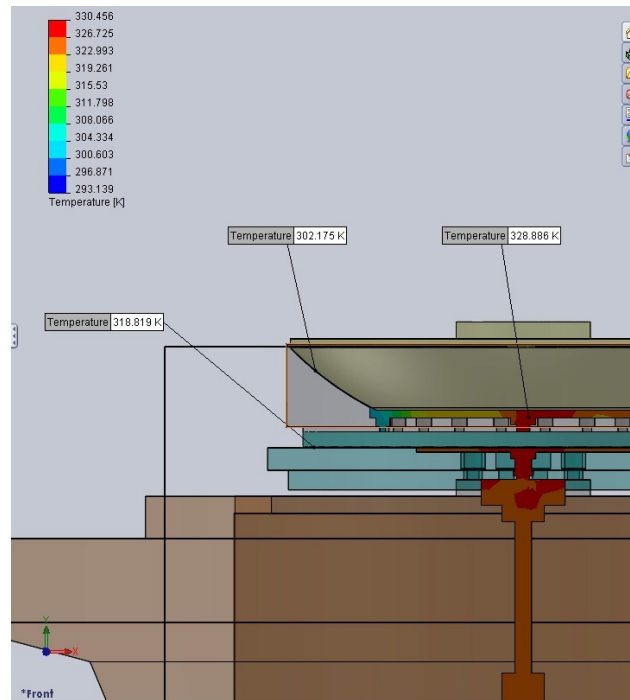
Хлабините в сферичния и плоския лагери са завишени десет пъти (от 0,103 mm [1] на 1,03mm - за сферичния лагер и от 0,099 mm [1] на 1mm - за плоския лагер), за да може да бъдат коректно построени в 3D модела. Десетократното увеличение се компенсира при анализа на получените резултати по следния начин – редуцират се десет пъти стойностите на обемите течност, преминаващи през сферичния и плоския лагер, защото това завишаване влияе само върху височината на сферичния и цилиндричния сегменти, които се използват при дефиниране на граничните условия.

### 4. КОМПЮТЪРНО ФЛУИДНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХИДРОСТАТИЧЕН АКСИАЛЕН ЛАГЕР

За коректното провеждане на симулационното изследване е необходимо да се дефинират гранични условия. В конкретния случай те са: - входно налягане на

системата – 16,38 MPa; налягане на изхода на плоския лагер – 1,37 MPa и налягане на изхода на сферичния лагер – 1,36 MPa. Хидравличното масло използвано в хидростатичната система е Mobilgear 630, имащо специфичен топлинен капацитет 1800 J/kg.K. Плътноста на маслото е  $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$  Компютърното изследване е проведено при три различни работни температури на маслото, като за всяка от тях отговаря различен динамичен вискозитет както следва:

- за температура -  $50^{\circ}\text{C}$  (323 K) –  $\mu = 0,0953 \text{ Pa.s}$ ;
- за температура -  $70^{\circ}\text{C}$  (343 K) –  $\mu = 0,0404 \text{ Pa.s}$ ;
- за температура -  $100^{\circ}\text{C}$  (373 K) –  $\mu = 0,0163 \text{ Pa.s}$ .



Фиг.4 Температурно разпределение на маслото при  $\mu = 0,0953 \text{ Pa.s}$ ;

На фигура 4 е изобразено температурното разпределение на маслото при динамичен вискозитет  $\mu = 0,0953 \text{ Pa.s}$  като на изхода на плоския лагер температурата е 318,8 K, а за сферичния лагер стойността е 302,18 K. Получената максимална температура в системата е 328,8 K.

Таблица 1

**Lager-sgloben.SLDASM [Mobil 50 C]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m³/s]	0.024083794	0.023660586	0.024146212	0.021762562	100	Yes	0.00238365	0.004711213
SG Volume Flow Rate 2	[m³/s]	0.006952472	0.00689949	0.007000266	0.006556713	100	Yes	0.000443552	0.000487857

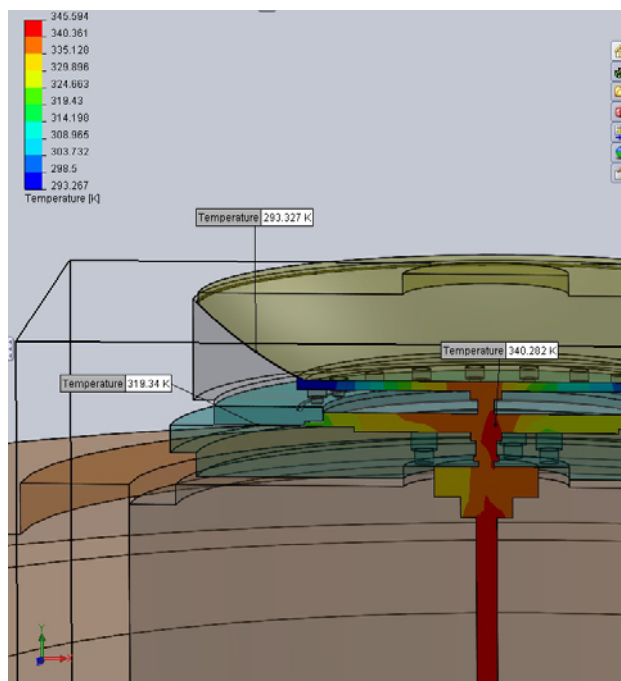
Iterations: 59  
Analysis interval: 27

Таблица 2

**Lager-sgloben.SLDASM [Mobil 70 C (1)]**

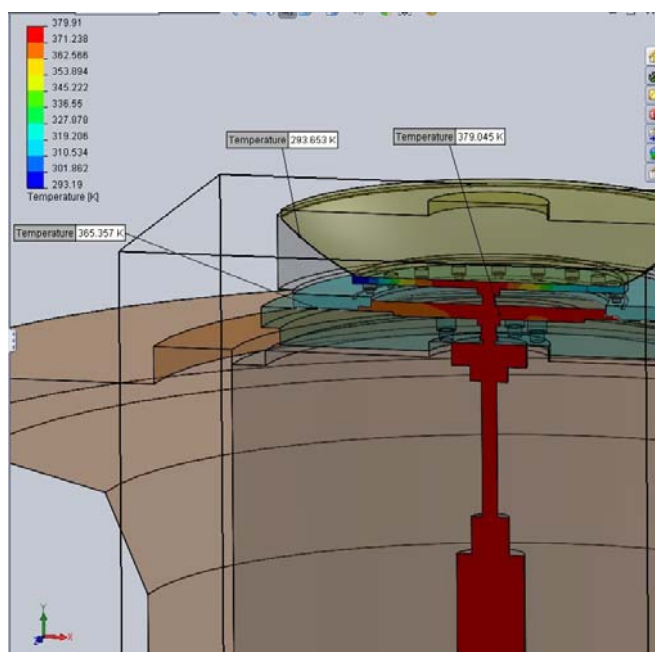
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m³/s]	0.021608416	0.021325119	0.02206712	0.01876491	100	Yes	0.00330221	0.003635067
SG Volume Flow Rate 2	[m³/s]	0.004547862	0.00465474	0.004725333	0.004547862	100	Yes	0.000177471	0.000321213

Iterations: 56  
Analysis interval: 27



Фиг.5 Температурно разпределение на маслото при  $\mu = 0,0404 Pa.s$ ;

На фигура 5 е изобразено температурното разпределение на маслото при динамичен вискозитет  $\mu = 0,0404 Pa.s$  като на изхода на плоския лагер температурата е  $319,34 K$ , а за сферичния лагер стойността е  $293,3 K$ . Получената максимална температура в системата е  $340,28 K$ .



Фиг.6 Температурно разпределение на маслото при  $\mu = 0,0163 Pa.s$ ;

Таблица 3

**Lager-sgloben.SLDASM [Mobil 100 C (2)]**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Volume Flow Rate 1	[m³/s]	0,02214493	0,022405541	0,022659012	0,022037594	100	Yes	0,000621418	0,000671778
SG Volume Flow Rate 2	[m³/s]	0,004066461	0,004147453	0,004380319	0,004059296	100	Yes	0,000321023	0,000321952

Iterations: 65

Analysis interval: 27

На фигура 6 е показано температурното разпределение на маслото при динамичен вискозитет  $\mu = 0,0163 Pa.s$  като на изхода на плоския лагер температурата е 365,35 K, а за сферичния лагер стойността е 293,6 K. Получената максимална температура в системата е 379,04 K.

## 5. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Разходът на масло през плоския лагер за различните температури е показан съответно в таблици 1,2 и 3, като означението му е *SG Volume Flow Rate 1* (стойността е десеткратно увеличена поради по-горе изложените приемания). Същото важи и за сферичния лагер, като неговото означение в таблиците е *SG Volume Flow Rate 2*.

На базата на проведените симулационни изследвания могат да бъдат направени следните изводи:

- температурата на маслото в сферичния и в плоския лагер е чувствително по-ниска от температурата в централния канал поради много по-голямата площ на топлоотдаване в двата лагера;
- с увеличаване на динамичния вискозитет зоната на висока температура се разпространява и в плоския лагер;
- разходът на масло през плоския лагер е относително постоянен докато този през сферичния намалява с увеличаване на температурата;
- най-малък обемен разход на масло през двата лагера се получава при температура 70°C.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Цветков Кр., “Изследване на технологични и експлоатационни показатели на конусни трошачки с хидростатично поддържане на подвижния конус, работещи в „Елаците-мед“- АД“, „Дисертация“, МГУ „Св. Иван Рилски“ София 2003.
- [2] Tsvetkov Kr., Iliev Zh., Perenovski N., Power of electric motor and forces of breakage in jaw crushers with direct drive of the movable jaw. International Scientific Conference, UNITECH 2013, Gabrovo, Bulgaria.
- [3] Цветков Кр., “Видове конструкции и технологично пресмятане на челюстни и конусни трошачки“ София, 2007.
- [4] Iliev Zh., Perenovski N., “Using finite element method by design of impact crusher for average crushing”, 21<sup>st</sup> International scientific conference transport, “Todor Kableshkov University Transport”, 2013.

## COMPUTER SIMULATION RESEARCH OF HYDROSTATIC THRUST BEARINGS OF CONE CRUSHER TYPE "KUBRIA" BY FINITE ELEMENT METHOD

Nikolai Perenovski, Zhivko Iliev  
[perenovski@abv.bg](mailto:perenovski@abv.bg), [halkopirit@mail.bg](mailto:halkopirit@mail.bg),

*University of Mining and Geology "St Ivan Rilski", Prof. Boyan Kamenov St., 1700, Sofia BULGARIA*

**Key words:** ore dressing machine, hydrostatic thrust bearing, cone crusher, finite element method

**Abstract:** Computer simulation of hydrostatic thrust bearing using fluid performance study of supporting hydraulic system is made in this article. The analysis of the results and recommendations about how to obtain optimal temperature parameters of the hydrostatic thrust bearing are made.