

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСА СМИЛАНЕ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНА РОЛКОВА МЕЛНИЦА СЪС СРЕДСТВАТА НА АНАЛИЗА НА РАЗМЕРНОСТИТЕ

Юлиан Димитров

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

Михаил Чалашканов

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

РЕЗЮМЕ

Анализирант се резултатите от проведени лабораторни изследвания с центробежно - ролкова мелница (ЦРМ) и се правят изводи от натрупания опит по внедряване на този тип мелници в производството. В резултат на това се построява един обоснован модел на процеса смилане с ЦРМ и се извеждат зависимости със средствата на анализа на размерностите.

Представен е и пример на мелница с конструкция с управляващо приплъзване на смилещите ролки, съответстваща на граничните параметри на модела. Изведените зависимости ще послужат за вземане на оптимални решения при проектиране на ЦРМ.

УВОД

Центробежните ролкови мелници ЦРМ са мелнични машини, при които се използват центробежни сили, създавани при относително бързото движение на смилещите тела. В сравнение с топковите и прътовите мелници, използването на високо скоростни центробежно-ролкови мелници се характеризира основно със следните предимства:

- по малък обем и тегло на мелниците;
- по висока производителност ;
- по малък разход на енергия;
- по малко износване на работните части;
- по голяма универсалност за смилане на различни по качество материали.

По - съществени недостатъци на ЦРМ са:

- бързо и неравномерно износване на смилещите ролки;
- намаляване на натиска на ролките върху материала с увеличаване на износването на смилещите тела.

В Чалашканов (1979) се прави едно задълбочено изследване на процеса смилане на базата на теория на подобие и голям брой експерименти с лабораторна ЦРМ. Като правило е налице тенденция на изоставане на теорията от практическото приложение на ЦРМ. Опит за внедряване на центробежно-ролкови мелници в производството се прави от професор Д. Обрешков и колектив (Обрешков Д., 1965, Обрешков Д. и др., 1973). Основната работа е извършена в посока на повишаване на износостойчивостта на ролките. Процесът на износване е описан чрез сложна система от диференциални уравнения, използването на които среща определени затруднения. Предпочита се този процес да бъде изследван чрез голям брой експерименти с лабораторни ЦРМ. В Чалашканов

(1979) е даден превес на емпиричното изследване на процеса смилане.

ЦЕЛ

Да се предложи един обоснован модел на процеса на смилане, създаден на базата на множество експерименти и изводи от Чалашканов (1979) и методите за прилагане на размерностен анализ (Димитров, 1998, 1999). Да се приложи метод за пълно използване на информацията за процеса на работа на ЦРМ по достатъчно адекватен начин, така че да се осъществи едно рационално моделиране.

СХЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА СМИЛАНЕТО С ЦРМ

Процесът се характеризира с два елемента, намиращи се в динамично състояние:

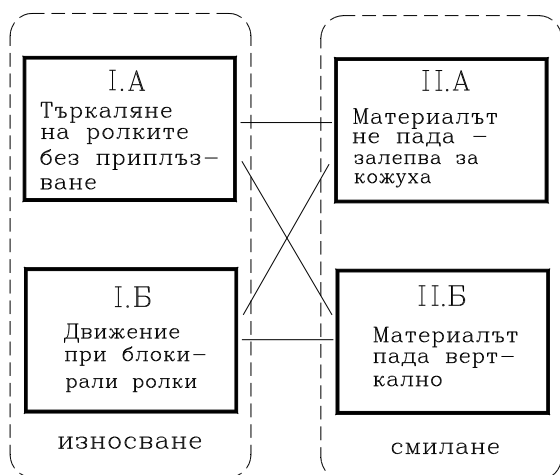
- ролки;
- смилан материал.

Материалът и ролките взаимно си въздействат, в резултат на което се появяват разрушения, бързо раздробяване на материала и постепенно износване на ролките.

Материалът се движи в посока отгоре надолу под действие на силата на тежестта, като същевременно се увеличава от движението на ротора спрямо кожуха - движението може да се представи като суперпозиция (сума) на процес на свободно падане на материала и на кръговото му движение, следващо относителното движение на ротора спрямо кожуха.

Ролките се движат кръгово в резултат на движението на ротора спрямо кожата и същевременно приплъзват. Движението на всяка ролка може да се представи като сума на свободно търкаляне без приплъзване на ролката в дадени моменти, алтернирано със състояния на блокиране на ролката.

При определени условия състоянието на процеса може да бъде близко до една от комбинациите (I.A,II.A), (I.A,II.B), (I.B,II.A) или (I.B,II.B) (Фиг.1). При обичайната работа е на лице процес с динамични елементи - ролки и смилан материал, движението на които се описва със суперпозиция, като износването е съставен процес на I.A и I.B, а смилането - на II.A и II.B.



Фигура 1. Схематичен модел на смилането с ЦРМ

Допълнително, при отчитане на износване на ролките трябва да се има в пред вид, че при тяхната цилиндрична форма и движение, вследствие удари-те със смилания материал се осъществява отблъскване от кожата и след това удар върху него по-силен в краищата - този динамичен процес се дължи на известно кръстосване на осите на ролките. В резултат на това износването в краищата на ролката е по-бързо.

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ИЗНОСВАНЕ НА РОЛКИТЕ

Съгласно Чалашканов (1979) и други автори процесът на износване на ролките на ЦРМ зависи от:

- физико-химични свойства на материала за смилане;
- вид на работните повърхнини на мелницата;
- термични свойства и температура на работните части;
- геометрични размери, скорост на движение и време за работа, които:

d_p, h_p - външен диаметър и височина на една ролка;

a_p - брой на ролките в етаж;

$k_{ет}$ - брой на етажите;

D_k, H_k - диаметър и височина на кожата на мелницата;

ω - ъглова скорост на ротора спрямо кожата;

t - продължителност на работата.

За отчитане на износването се въвежда величина-та J - скорост на износването, изразяваща обема на отнетия материал от всички ролки за единица време, $\frac{m^3}{s}$.

Правила, определящи скоростта на износването (накратко износване) J :

- износването зависи в права посока от силата на натиск P на всяка ролка върху кожата;
- то зависи също от общата работна площ и от продължителността на работа до амортизиране на ролките T_a ;
- зависи от честотата на въздействие на смилания материал отнесена към единица площ от повърхността на ролките;
- износването е по-голямо в краищата на ролките поради специфичния начин на движение (кръстосване на осите) на ролките.

За пълното описание на един процес не е достатъчно да се даде аналитична зависимост между неговите параметри. Необходимо е да се изясни и участието в процеса на всеки от параметрите като физична величина, изразено чрез физична и предметна зависимост (Димитров, 1998). Под физична зависимост разбираме представянето на формулите на размерност на параметрите чрез определени основни величини. Тази зависимост се проявява като основна тенденция и може да се отдели от случайния характер и проявите на емпиричната зависимост. Предметната зависимост е връзката между физичните величини, която се появява от предмета на задачата - конкретното приложение в определена приложна област. Този вид зависимост допълва информацията от физичната и емпирична зависимост.

От гледна точка на възможностите за прилагане на анализа на размерностите в Димитров (1998) един процес е наречен прост, ако се описва с аналитична зависимост, представляваща степенен едночлен и сложен процес, когато се представя като сума от степени едночлени. За приложението, което правим, допускаме, че процесите се представят като суперпозиция на краен брой прости процеси.

Съгласно приетия от нас модел на смилането фиг.1, процесът на износване е суперпозиция на търкаляне на ролките без блокиране и работа с блокирани ролки.

За описание на процеса се използва анализът на размерностите. При първоначалното разглеждане се разделят определящите параметри на процеса на задължителни и такива, които евентуално участват.

Системата от физични величини включва:

P - нормален натиск на всяка от ролките, $P = F_u$;

m_p - маса на ролка, $m_p = \frac{G_p}{g}$;

S - работна площ на въздействие в момента t на работа, $S = \pi d_p h_p a_p k_{ет}$.

При всеки от елементарните процеси участва някоя от величините:

t - време на работа, $t \in (0, T_a)$, където T_a е време за амортизация на ролките при определени условия. Ролката е амортизирана при достигане на диаметър d_a .

$v = \omega D_k$ - линейна скорост на ротора спрямо кожуха;

При работа с блокирани ролки, износването зависи в права посока от:

h_p - височина на ролката - определя влиянието на кръстосването на осите на ролките върху износването.

Използва се и специфичния за анализа на размерностите начин за избор на основните параметри на размерността, отчитащ независимостта между някои от параметрите на процеса:

$$[P] = \frac{L_1 M}{T^2}, \quad \left[\frac{G_p}{g} \right] = M, \quad [S] = L_2^2,$$

$$[v] = \frac{L_2}{T} \text{ и } [t] = T.$$

При търкаляне без блокиране (приплъзване)

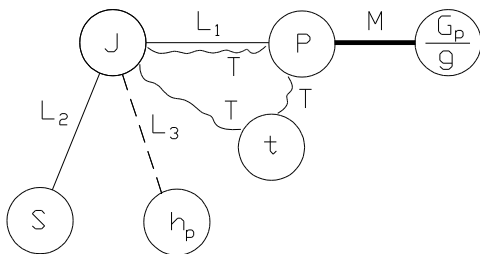
$$[J_1] = \frac{L_1 L_2^2}{T},$$

а при работа с блокирани ролки $[J_2] = \frac{L_1 L_2^2}{T}$ или

$$[J_2] = \frac{L_1 L_2 L_3}{T} \text{ в зависимост от това дали участва } h_p.$$

В зависимост от това, коя от величините t или v участва в системата от физични величини, се получават два вида обобщени схеми на размерностите сх. 1 (фиг.2) и сх.2 (фиг.3).

сх. 1



Фигура 2. Схема на размерностите - сх.1

Схематично основните еквивалентности са:

А. При търкаляне без приплъзване

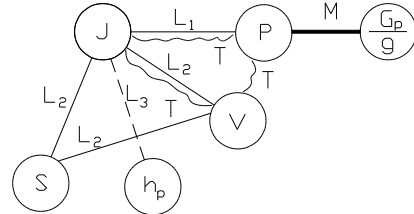
$$[J_1] = [P]^{x_1} \left[\frac{G_p}{g} \right]^{x_2} [S]^{x_3} [t]^{x_4} \quad (1) \text{ и}$$

Б. При работа с блокирани ролки

$$[J_2] = [P]^{x_1} \left[\frac{G_p}{g} \right]^{x_2} [S]^{x_3} [t]^{x_4} [h_p]^{x_5} \quad (2)$$

където с Z е означена една от величините t или v .

сх. 2



Фигура 3. Схема на размерностите - сх. 2

Получават се общо $2 \times 2 = 4$ варианта за процеса, като структурните формули за простите процеси А. и Б. са дадени в таблица 1.

Изборът на подходящия вариант се осъществява по експериментален път. Освен това са взети пред вид следните съображения за избор на варианта А. сх. 1 и Б. сх. 2: работната площ S е пропорционална на броя на въздействията на частиците от смилания материал във всеки момент t .

Таблица 1: Структурни формули на прости процеси

А. сх.1:	Б. сх.1:
$J_1 = C_1 \frac{gP}{G_p} S \cdot t$	$J_2 = C_2 \frac{gP}{G_p} S^{\frac{1}{2}} \cdot t h_p$
А. сх.2:	Б. сх.2:
$J_1 = C_1 \frac{gP}{G_p} \cdot \frac{S^{\frac{3}{2}}}{v}$	$J_2 = C_2 \frac{gP}{G_p} \cdot \frac{S h_p}{v}$

Следователно структурната формула на износването е:

$$J = C_1 \frac{gP}{G_p} S \cdot t + C_2 \frac{gP}{G_p} \cdot \frac{S h_p}{v} \quad (3)$$

$$\text{От } P = \frac{G_p}{g} \cdot \frac{D_k - \tilde{d}_p}{2} \cdot \frac{v^2}{D_k^2}, \quad v = D_k \cdot \omega \text{ и } \tilde{d}_p = L(t),$$

$t \in (0, T_a)$ се получава

$$J = \frac{\pi}{2} \frac{h_p}{D_k} \omega a_p k_{ет} (C_1 D_k \omega + C_2 h_p) \times [D_k - L(t)] L(t) \quad (4)$$

$$\text{Нека } \Delta V = \pi \left[\left(\frac{d_p}{2} \right)^2 - \left(\frac{\tilde{d}_p}{2} \right)^2 \right] h_p a_p k_{\text{ет}} \text{ е усреднен}$$

обем материал, отделен от работните части на ролките за периода t . Тук d_p е началния диаметър, а $\tilde{d}_p = L(t)$ е усреднен външен диаметър на ролките в момента t , където $L(T_a) = d_a$.

Тогава $J = \frac{\partial \Delta V}{\partial t} = -\frac{\pi}{2} L(t) L'(t) h_p a_p k_{\text{ет}}$ и след заместване в структурното равенство се получава

$$\ln \frac{D_k - L(t)}{D_k - d_p} = C_1 \frac{\omega^2 t^2}{2} + C_2 \frac{\omega t h_p}{D_k} \quad (5)$$

За определяне на константите C_1 и C_2 са използвани данни, отнасящи се смилане на доломит. Данните са разделени на експериментални и контролни. (табл. 2).

Таблица 2: Данни за пресмятане на износването

T_a	h_p	d_p	ω	D_k	d_a
Експериментални данни					
1260	150	70	100	250	50
1400	120	70	80	250	50
2120	90	90	60	250	50
2480	90	90	80	250	50
1920	45	90	100	250	50
2220	45	90	80	250	50
2010	45	90	80	250	50
2480	45	70	100	250	50
Контролни данни					
2010	90	70	80	250	50
2640	90	90	60	250	50
2460	45	70	80	250	50
1720	90	90	100	250	50

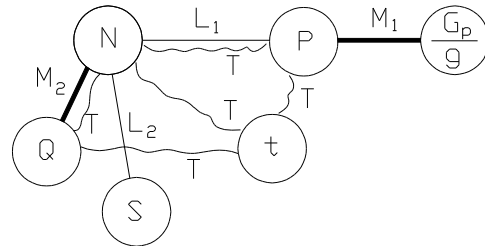
Експерименталните данни се използват за изчисляване на C_1 и C_2 по метода на най-малките квадрати, а контролните данни за определяне на грешката.

Получени са стойностите $C_1 = 3.4 \cdot 10^{-11}$ и $C_2 = 1.4 \cdot 10^{-5}$. Средната относителна грешка за контролните данни е 4 %.

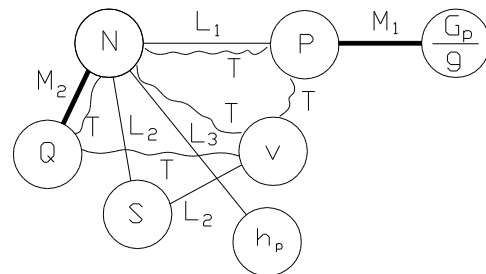
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОЛЕЗНАТА МОЩНОСТ НА МЕЛНИЦАТА

За извеждане на формула за мощността може да се използва схемата от фиг. 1 и система от параметри, включващи определящите параметри за износването J и производителността на мелницата Q . Понеже полезната работа за смилане съответства на работата за износване на ролките, то мощността също може да бъде представена

като суперпозиция $N = N_1 + N_2$ на мощност N_1 при свободно търкаляне на ролките и мощност N_2 при блокирани ролки. Съответните прости процеси имат схеми за размерностите, получени от свойствата, дадени със съответните схеми за износването, с добавяне на нови параметри (фиг.4 и фиг.5).



Фигура 4. Схема за определяне на мощността съответна на сх. 1



Фигура 5. Схема за определяне на мощността съответна на сх. 2

Към данните от табл. 2 прибавяме табл. 3 от съответни данни за мощност N , производителност Q и работна площ S при среден диаметър $d_{cp} = \frac{d_p + d_a}{2}$ на ролката.

Структурната формула е

$$N = C_1 \frac{gPQS^{1/2}}{G_p} + C_2 \frac{gPQS}{G_p h_p} \quad (6)$$

От експерименталните данни се получава $C_1 = 1.8 \cdot 10^{-7}$ и $C_2 = 2.2 \cdot 10^{-9}$ и от контролните данни средната относителна грешка е 10 %.

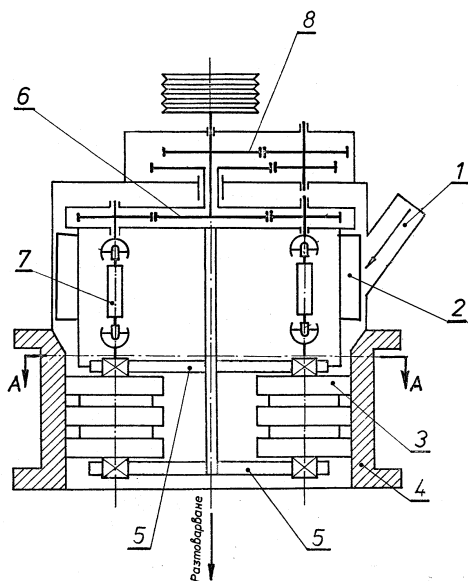
Таблица 3: Данни за пресмятане на мощността

N	Q	S	d_{cp}
Експериментални данни			
7	0.1	200000	60
4	0.1	100000	60
2	0.1	79168	70
4	0.1	78168	70
4	0.1	59376	70
2.5	0.1	29688	70
3	0.1	39584	70
2	0.1	25447	60
Контролни данни			

4	0.1	59375	70
2	0.1	76341	90
2.5	0.1	29688	70
8	0.1	300000	90

ЦЕНТРОБЕЖНА МЕЛНИЦА С ПРИПЛЪЗВАЩИ РОЛКИ

Различните крайни състояния, включени в схематичния модел (фиг. 1), са прости процеси, които в реалните приложения не се срещат самостоятелно. В най-често срещаните конструкции на центробежни мелници, движението на ролките е предизвикано от движението на ротора спрямо кожуха. При тях процесът на смилане има много слабо проявено приплъзване на ролките - състояние I.Б. В някои случаи за по-ефективно смилане на материала е необходимо съчетаване на натиск с изтриване. На фиг. 6 е показана ЦРМ, работеща по този начин.



Фигура 6. ЦРМ с управление на приплъзването на ролките

Принципът на работа на мелницата е следния: Изходният материал се подава през отвора 1 гравитационно. Той се разпределя равномерно по кожуха на мелницата посредством лопатките 2 и се смилва от ролките 3, притиснати към кожуха 4 под действие на центробежната сила, която се създава от ролките при ротацията им по вътрешната цилиндрична повърхност на кожуха. Ролките са лагирани към плъзгачите 5 (по които ролките се придвижват аксиално), като получават две независими движения. От една страна те се въртят около остите си от електродвигателя посредством редуктора 6 с карданната връзка 7. От друга страна кожухът на редуктора 6 получава принудително ротационно движение от редуктора 8. Вследствие на наслагването на тези две движения ролката въздейства върху частичка от смилания материал освен на натиск и на изтриване. По този начин се получава значително по-фин

продукт в сравнение с мелниците с чисто ротационно движение на ролките.

Мелницата е може да се използва при фино, сухо смилане, както на рудни така и на нерудни полезни изкопаеми. Може да намери приложение и при експерименталното изследване на схематичния модел на фиг. 1.

ИЗВОДИ

Предложеният схематичен модел дава възможност за прилагане на размерностен експеримент при извеждане на зависимости между параметрите.

Даденият пример на ЦРМ с управление на приплъзването на ролките и получените резултати за грешката (4% и 10 %) доказват коректността на схематичния модел (фиг.1).

Конструкцията на фиг. 6 потвърждава равнопоставеността на състоянията I.А. и I.Б. на процеса смилане, което не се проявява при обичайните конструкции на ЦРМ.

Обсъжданият тук общ модел на процеса смилане и предложеният начин на експериментално изследване ще намерят приложение при теоретично изясняване на съответстващите смилането процеси и при практическото конструиране на ефективни промишлени ЦРМ.

ЛИТЕРАТУРА

- Димитров Ю. 1998. Прилагане на схеми на размерностите за системи от физични величини за определяне на зависимост между тях, *НАЦИД-ЦТБ*, НД17082.
- Димитров Ю., Оптимизиране на информативността на данните при експериментално определяне на функционалните връзки между физични величини, *Автоматика и информатика* 99 (1999), том 5, 54-57.
- Димитров Ю., Оценка на ентропията при изразяване на функционалната зависимост между безразмерни величини, *Автоматика и информатика* 99 (1999), том 5, 58-61.
- Обрешков Д., Иванов К., Вучев Й., Центробежна ролкова мелница с торзионни валове, *Годишник на ВМГИ*, 1971 - 1972 (1973), св.1, т.18.
- Обрешков Д. Н. 1965. Интензифициране на процеса смилане посредством центробежна мелница със свободно ротиращи пръстени - лабораторен модел, *"Дисертация за присъждане на научната степен к.т.н."*, ВМГИ.
- Чалашканов М. Н. 1979. Изследване на функционалната връзка между основните конструктивно - технологични параметри на ЦРМ при смилане на полезни изкопаеми, *Автореферат на дисертация за присъждане на научната степен к.т.н.*, София, г.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Математика" на МЕМФ

RESEARCH OF THE PROCESS OF REFINEMENT AT CENTRIFUGAL ROLLER MILL WITH MEANS OF DIMENSIONAL ANALYSIS

Julian Dimitrov

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski"
Sofia 1700, Bulgaria

Michail Chalashkanov

University of Mining and Geology
"St. Ivan Rilski"
Sofia 1700, Bulgaria

SUMMARY

The results of laboratory examinations with centrifugal roller mills (CRM) are analyzed and on the basis of the accumulated experience conclusion are made for introduction of this kind of mills in production. In this paper the based model of process of grinding (refinement) with CRM is constructed and conclusions with means of dimensional analysis are made.

An example is presented of construction of a mill with ruling skidding of the grinding rollers, which corresponds to the boundary parameters of the model. The deduced dependencies would be used to take optimal decisions at designing.

Key words: dimensional analysis, centrifugal roller grinding mills, optimum projection, optimum experiment, similitude, physical modeling

INTRODUCTION

Centrifugal roller mills (CRM) are machines for grinding. They use centrifugal forces created by relatively fast motion of grinding rollers. In comparison with rod and ball mills the use of fast CRM is characterized with:

- Smaller capacity and weight of mills;
- Better productivity;
- Smaller power consumption;
- Smaller wearing out of working parts;
- Higher universal for grinding of materials with different qualities.

More considerable problems in the process of maintenance of CRM:

- Fast and non regular outwearing on the grinding rollers;
- Decreasing the pressure of rollers on the materials with increasing of wearing on grinding rollers.

In the paper by Chalashkanov (1979) a profound analysis of the process of grinding is made on the base of theory of similarity and big number of experiments with laboratory CRM. There is a tendency of being slow of the advance of theory in comparison with the applicatin of CRM. D. Obreshcov and collective (Obreshcov D., 1965, Obreshcov D. et all., 1973) have made an attempt to accept centrifugal roller mills in manufacture. Base work was made on the tendency of increasing wearing resistance of the rollers. The process of wearing is described with a complicated system of differential equations, use of which meets some difficulties. This process of research is realized with big number of experiments with laboratory CRM. In the paper by Chalashkanov (1979) preferences to empirical research of the process of grinding are given.

THE PURPOSE

To apply a well-founded model of the process of a refinement is offered in this paper, created on the base of great number of experiments and conclusions by Chalashkanov (1979) and methods of dimensioncal analysis by Dimitrov (1998, 1999).

To apply a method for full use of the information about the working process of CRM, thus to realize rational simulation.

SCHEMATIC MODEL OF GRINDING WITH CRM

The process is characterized with two elements which are in dynamic condition:

- Rollers;
- Material of grinding.

The material and the rollers influence each other and as a result occurs destruction, fast fragmentation of a material and gradually wearing of the rollers.

The motion of the material from upward to down is under the action of the weight and at the same time it scrolled by the rotor.

The rotary motion of the rollers exists as a result of motion of the rotor in relation to the drum and at the same time they are skidding. The movement of each roller can be presented as a sum of free rotation without skidding at the given moments, alternatively replaced from a status of the block of a roller.

In definite conditions the status of process can be near to one of combinations (I.A, II.A), (I.A, II.B), (I.B, II.A) and (I.B, II.B) (Fig.1). During the usual work of CRM the dynamic process with dynamic elements (rollers and grinding material) is functioned. Their movement can be described as a superposition. The wearing can be represented as a process that is compounded of I.A and I.B, and process of a refinement - II.A and II.B.

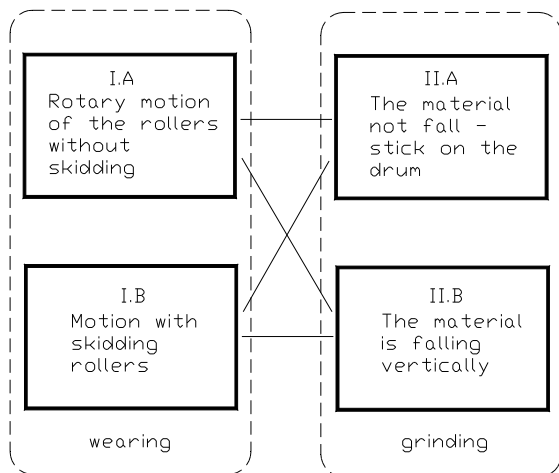


Figure 1. Schematic model of grinding with CRM

In addition, giving the wear process of rollers, it is necessary to think that at their cylindrical form and free movement, owing to free motion on the grinding material is realizing pushing away from a drum and after that strong impact on him at borders. This dynamic process is named an intersection of rollers. In result of that the wear process in borders of roller is fast.

SIMULATION OF WEARING PROCESS OF THE ROLLERS

By Chalashkanov (1979) and other authors the wearing process of the rollers of CRM depend on:

- Physicochemical properties of the grinding material;
- Type of working surfaces of the grinding mill;
- Thermal properties and temperature of the working parts;
- Geometrical measures, speed of motion and time for work.

d_p, h_p - Diameter and height of one roller, m;

a_p - Number of rollers on a level;

k_{eT} - Number of levels;

D_k, H_k - Diameter and height of the barrel of the grinding mill, m;

w - Angular velocity of the rotor, s^{-1} ;

t - Duration of work.

For counting the wearing is introduced value J - speed of wear, that expresses the capacity of separated material from each roller for a unit time m^3/s .

- Rules defining speed of the wear process of the rollers (in short wear) J :
- The wear depends on right direction from pressing force P of each roller on the barrel;
- It depends on general working surface and continuity T_a of work before amortization of rollers;
- On frequency of effects by grinding material on a unit area from surface of the rollers;
- The wear is bigger in borders of the rollers because of specific way of motion (crossing of axis) of the rollers.

For full description of a process it is not enough to be expressed analytical dependence between its parameters. It is necessary to clarify and involvement of each of the parameters as physical quantity, expressed from physical dependence and dependence that is deriving from the subject of the task (we'll call it subject dependence) (Dimitrov, 1998). Under physical dependence we understand the presentation of the formulas of the parameter's dimension by some grounded physical quantities. This dependence is manifested as the grounded tendency and it is possible to separate it from randomness and manifestation of an empirical dependence. The subject dependence is link between the physical quantities, which appears from the subject of the task - concrete application in certain practical area. This type of dependence adds to the information from physical and empirical dependence.

From point of view of possibilities to apply the dimensional analysis by Dimitrov (1998) a process is named simple if it is described by analytical dependence, represented with exponent monomial and complex process when it is described with sum of exponent monomials. For the application, which we make, we admit that the processes are represented as a superposition of simple processes.

According to the perceived from us model of a refinement (fig.1), the process of wear is superposition of the free rotation of the rollers without skidding and work with the block of rollers.

For description of the process we use dimensional analysis. In original consideration, we divide decisive parameters of the processes on compulsory and which possibly participate.

The system of physical quantities include:

- $P = F_u$ - Normal pressuring force of each of rollers;

- $\frac{G_p}{g}$ - Average mass of rollers;

- $S = \pi d_p h_p a_p k_{eT}$ - working area under influence in moment t of work;

In each simple process takes part some of physical quantities:

t - Time for work $t \in (0, T_a)$, where T_a mean time for amortization of the rollers under certain conditions. The roller is amortized at reaching average size $d_a = 50mm$.

$v = \omega D_k$ - Linear speed of rotor in relation to barrel.

When working with the block of the rollers, the wear depend in right direction by:

h_p - Height of the roller – describes influence of crossing of axis of the rollers on wearing.

We use also specific for a dimensional analysis a method for choice of basic parameters of dimension, which give dependence between some of parameters of the process:

$$[P] = \frac{L_1 M}{T^2}, \quad \left[\frac{G_p}{g} \right] = M, \quad [S] = L_2^2,$$

$$[v] = \frac{L_2}{T} \text{ and } [t] = T.$$

At rotation without skidding $[J_1] = \frac{L_1 L_2^2}{T}$, while at work with block of rollers $[J_2] = \frac{L_1 L_2^2}{T}$ or $[J_2] = \frac{L_1 L_2 L_3}{T}$ depending on if h_p takes part.

In dependence of which of the quantities t or v takes part in system of physical quantities, are received two types generalized schemes sch.1 (fig.2) and sch.2 (fig.3)

sch. 1

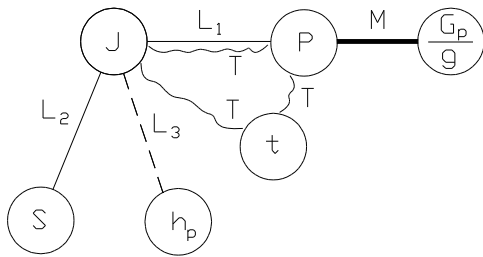


Figure 2. Scheme of the dimensions – sch. 1

sch. 2

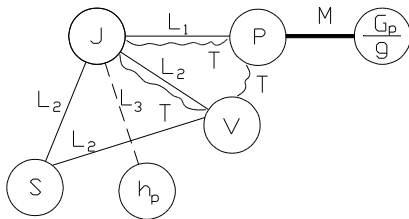


Figure 3. Scheme of the dimensions – sch. 2

Schematic the generalized equivalencies are:
A. At the rotation without skidding

$$[J_1] = [P]^{x_1} \left[\frac{G_p}{g} \right]^{x_2} [S]^{x_3} [z]^{x_4} \quad (1) \text{ and}$$

B. Work with the block of rollers

$$[J_2] = [P]^{x_1} \left[\frac{G_p}{g} \right]^{x_2} [S]^{x_3} [z]^{x_4} [h_p]^{x_5}, \quad (2)$$

where with z is denoted one of the quantities t or v .

Therefore are received $2 \times 2 = 4$ variants for the process. The structural formulas for the simple processes A. and B. are given in table 1.

Table 1: Structural formulas of the simple processes

A. sch.1:	B. sch.1:
$J_1 = C_1 \frac{g^P}{G_p} S \cdot t$	$J_2 = C_2 \frac{g^P}{G_p} S^2 \cdot th_p$
A. cx.2:	Б. cx.2:
$J_1 = C_1 \frac{g^P}{G_p} \frac{S^3}{v}$	$J_2 = C_2 \frac{g^P}{G_p} \frac{Sh_p}{v}$

The choice of the appropriate variant is realized by experimental way. Also there are the following considerations for choice of variants A. sch.1 and B. sch.2 - the working surface S is proportional to the number of effects of the particles of a grinding material on unity of this area - proportional on the speed of wearing.

Therefore the structural formula of the wearing is:

$$J = C_1 \frac{g^P}{G_p} S \cdot t + C_2 \frac{g^P}{G_p} \frac{Sh_p}{v} \quad (3)$$

$$\text{From } P = F_{\text{ц}} = \frac{G_p}{g} \cdot \frac{D_k - \tilde{d}_p}{2} \cdot \frac{v^2}{D_k^2}, v = D_k \cdot \omega \text{ and}$$

$$\tilde{d}_p = L(t), t \in (0, T_a) \text{ is receive}$$

$$J = \frac{\pi h_p}{2 D_k} \omega a_p k_{\text{ET}} (C_1 D_k \omega + C_2 h_p) \times [D_k - L(t)] L(t) \quad (4)$$

$$\text{Let } \Delta V = \pi \left[\left(\frac{d_p}{2} \right)^2 - \left(\frac{\tilde{d}_p}{2} \right)^2 \right] h_p a_p k_{\text{ET}} \text{ is average volume}$$

of a material, detached from the work parts of the rollers for the period t . Here d_p is the initial diameter, and $\tilde{d}_p = L(t)$ is the average diameter of rollers in moment $t. L(T_a) = d_a = 50 \text{ mm}$.

Then $J = \frac{\partial \Delta V}{\partial t} = - \frac{\pi}{2} L(t) L'(t) h_p a_p k_{\text{ET}}$ and after replacement in the structural equation is received

$$\ln \frac{D_k - L(t)}{D_k - d_p} = C_1 \frac{\omega^2 t^2}{2} + C_2 \frac{\omega th_p}{D_k} \quad (5)$$

For defining of constants C_1 and C_2 is used data which refers to the grinding of dolomite. The data is divided into experimental and test parts (table. 2).

Table 2: Data for calculate of wearing

T_a	h_p	d_p	ω	D_k	d_a
Experimental data					
1260	150	70	100	250	50
1400	120	70	80	250	50
2120	90	90	60	250	50
2480	90	90	80	250	50

1920	45	90	100	250	50
2220	45	90	80	250	50
2010	45	90	80	250	50
2480	45	70	100	250	50
Test data					
2010	90	70	80	250	50
2640	90	90	60	250	50
2460	45	70	80	250	50
1720	90	90	100	250	50

The experimental data is used for calculation of C_1 and C_2 by method of the least squares, and test data – for defining of errors.

The values $C_1 = 3.4 \cdot 10^{-11}$ and $C_2 = 1.4 \cdot 10^{-5}$ received. The mean relative error for test data is 4%.

DEFINITION OF THE USEFUL POWER OF MILL

For deducing the formula for the power, the scheme on fig.1 can be used and a system of parameters, including grounded quantities for wearing J and efficiency of the mill Q . Because the useful work for grinding is related to the work wearing of the rollers, power also can be represented as a superposition $N = N_1 + N_2$ of power N_1 at free rolling of the rollers and power N_2 at working with the block of rollers. The corresponding simple processes have schemes of dimensions, which are obtained from the properties given with the respective schemes of wearing with addition of new parameters (fig.4 and fig.5).

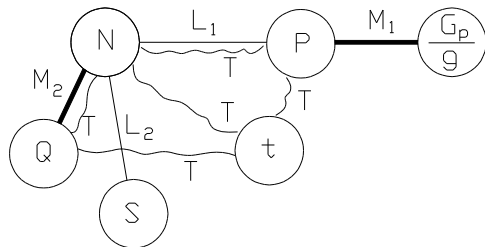


Figure 4. Scheme for determination of power corresponding to sch. 1

We add the data from table 3 to that from table 2, including: the power N , efficiency Q and working surface S at mean diameter $d_{cp} = \frac{d_p + d_a}{2}$ of a roller.

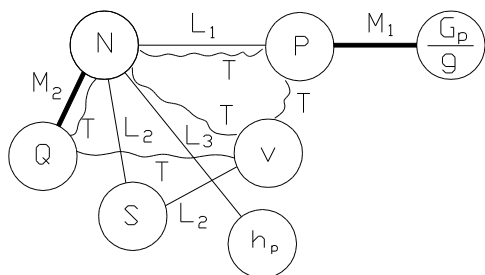


Figure 5. Scheme for determination of power corresponding to sch. 2

Table 3: Data for calculating of power

N	Q	S	d_{cp}
Experimental data			
7	0.1	200000	60
4	0.1	100000	60
2	0.1	79168	70
4	0.1	78168	70
4	0.1	59376	70
2.5	0.1	29688	70
3	0.1	39584	70
2	0.1	25447	60
Test data			
4	0.1	59375	70
2	0.1	76341	90
2.5	0.1	29688	70
8	0.1	300000	90

The structural formula is

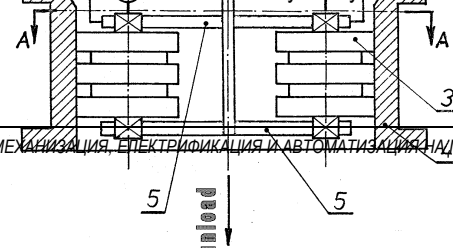
$$N = C_1 \frac{gPQS^{1/2}}{G_p} + C_2 \frac{gPQS}{G_p h_p} \tag{6}$$

From the experimental data are received $C_1 = 1.8 \cdot 10^{-7}$ and $C_2 = 2.2 \cdot 10^{-9}$ and the mean relative error for the test data is 10%.

CENTRIFUGAL ROLLER MILL WITH SKIDDING ROLLERS

The different boundary states included in schematic model (fig.1) are simple processes, which in actual applications do not meet separately. In the most often met construction of a centrifugal grinding mill the motion of the rollers is provoked from the motion of the rotor in relation to the barrel. At which the process of grinding has weakly manifested skidding - status I.B. In some cases for more efficient grinding of material is necessary to combine pressure with rubbing. Fig.6 represents CRM working in this way.

The principle of work of the grinding mill is given as follows: Material is fed through the hole 1 by gravitation. It is distributed uniformly on the barrel of the mill by blades 2 and is grinded with rollers 3, pressed on the barrel 4, under the action of a centrifugal force, which is provoked from rollers rolling on the internal cylindrical surface of the barrel. The rollers have bearings 6 and slippers 5 (on which they have axial motion), so they gain two independent motions. The rollers roll around their axis by the electric motor through reducer 6 with the universal coupling 7. On the other hand, the barrel of the reducer 6 receives compulsory rotary motion from reducer 8. As a result of superposition from these two motions, the roller affects pressing and rubbing on a particle from the grinding material. By this method is received considerably refine product in comparison with the mills with cleanly rotary motion of rollers.



The construction on fig.6 confirms the equality of the states I.A and I.B of the process of grinding, that is not manifested at the customary constructions of CRM.

The considered here common model of the grinding process and offered method of experimental research will found application at theoretical explanation of processes, which accompany with a grinding and in a practical construction of effective CRM

Figure 6. CRM with control on the skidding of the rollers

The mill is intended for high quality and dry refinement of ore and nonmetal minerals. It is possible to be used for experimental research of the schematic model on fig. 1.

CONCLUSION

The offered schematic model gives a possibility for applying of dimensional experiment by deducing of dependencies between the parameters.

The given example of CRM with control on the skidding of the rollers and received results for the error (4% and 10%) prove the correctness of the schematic model (fig.1).

REFERENCES

- Chalashcanov M. N.1979. The examination of functional link between basic is constructive technological parameters CRM at grinding of mineral resources., *Autoabstract of a thesis for adjudge to a scientific degree, Sofia*, (in Bulgarian).
- Dimitrov J. 1998. Applying of the schemes of dimensionalities for systems of physical quantities for definition by association between them., *NACID - CTB*, НД17082, (in Bulgarian).
- Dimitrov J., Estimation of entropy on expressing of the functional dependence between undimensional values, *Automatics and Informatics'99* (1999), том 5, 58-61. (in Bulgarian).
- Dimitrov J., Optimization of data's information in experimental determination of functional relation between physical values, *Automatics and Informatics'99* (1999), том 5, 54-57. (in Bulgarian).
- Obreshcov D. N. 1956. Intensive the process of grinding by centrifugal grinding mill with free rotated rings - laboratory model, *Autoabstract of a thesis for adjudge to a scientific degree, Sofia*, (in Bulgarian).
- Obreshkov D., Ivanov K., Vuchev J., Centrifugal roller grinding mills with torsional shaft, *Annual of MGU*, 1971-1972 (1973), св.1, т.18. (in Bulgarian)

Recommended for publication by Department of Mathematics, Faculty of Mining Electromechanics