

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА ЦЕНТРОБЕЖНА УДАРНО-ВИБРАЦИОННА МЕЛНИЦА (ЦУВМ)

**Емил Асенов**

ТУ – София  
катедра "ИЛСТПП",  
София 1756, България  
E-mail: emil\_assenov@yahoo.com

**Мариета Янчева**

ТУ – София  
катедра "ИЛСТПП",  
София 1756, България  
E-mail: mmarieta@mail.bg

**Райна Вучева**

МГУ "Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

В работата се описва устройството и действието на защитена с патент центробежна ударно-вибрационна мелница. Като се прилага теоретико-експериментален метод се описва процеса на фино смилане на рудни и нерудни полезни изкопаеми и строителни материали. За целева функция е избрано качеството на готовия продукт, а за управляващи фактори са избрани – теглото на материала в мелницата, теглото на смилещите тела и времето за смилане и оборотите на въртене на вала. Създаден е и е проведен план на експеримента при две нива на факторите. Получени са регресионни уравнения за целевата функция. Извършен е статистически анализ на резултатите от експериментите, които доказват адекватността на получените уравнения, както и значимостта на регресионните коефициенти.

### ВЪВЕДЕНИЕ

ЦУВМ е машина за фино смилане на нерудни полезни изкопаеми и строителни материали. Принципът на действие и устройство на машината са защитени с патент (Асенов, 1977г).

Целта на настоящата работа е да се дадат резултатите от проведено теоретико-експериментално изследване на работния процес на ЦУВМ.

ЦУВМ се изгражда [фиг.1] от изпъкнал надолу параболоид 1 с вертикална ос на ротация закрепен неподвижно към вертикален вал 2, който посредством лагери 3, е лагериран в плоча 4. Плочата 4 е поставена на еластични елементи 5 върху фундамента 6 на мелницата. Над долния въртящ се ротационен параболоид 1 е поставен горен, изпъкнал нагоре ротационен параболоид 7, чиято вертикална ос съвпада с тази на долния параболоид 1. Горният параболоид 7 е неподвижен като е закрепен чрез колоните 8 към плочата 4. Смилещите тела 9 и материалът, който ще се смилва, се подават през отвора 10 на горния параболоид 7, а готовият продукт изтича през решетките 11 на долния ротационен параболоид 1.

ЦУВМ работи по следния начин:

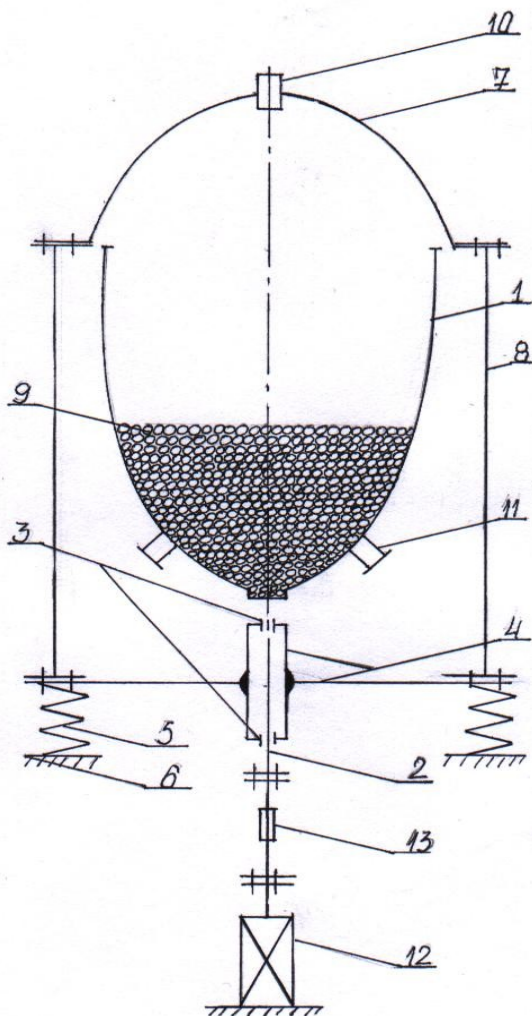
Определено количество смилещи тела 9 и материалът, който ще се смилва, се насипват през отвора 10 на горния ротационен параболоид 7 и пада в дъното на долния ротационен параболоид 1. От двигателя 12 въртеливото движение се предава посредством телескопичен еластичен съединител 13 на вертикалния вал 2 и на закрепения неподвижно за него ротационен параболоид 1. При определен брой обороти на ротационен параболоид 1 насипаните в него смилещи тела 9 и материалът поради

създадените центробежни сили и силите на триене се обтъркават и издигат по вътрешната повърхнина на параболоида 1.

Тези сили притискат смилещите тела 9 към вътрешната повърхнина на бързо въртящия се ротационен параболоид 1, при което се получава стриване на материала.

При определен брой обороти на ротационен параболоид 1 смилещите тела 9 и материалът излитат от него с определена скорост и достигат до горния неподвижен параболоид 7. Тук се извършва стриване на материала от търкалящите се по параболоида смилещи тела. Отраженият от горния параболоид 7 поток от смилещи тела и материала пада в дъното на бързо въртящия се ротационен параболоид 1, при което материалът ударно се разрушава.

Ударът на излитания от ротационен параболоид 1 поток от смилещи тела 9 в горния параболоид 7 и ударът на отражения от параболоида 7 поток на смилещите тела 9 в дъното на въртящия се параболоид 1, а така също и променливият във времето инерционен момент на трептящата система – плоча 4, еластични елементи 5, ротационен параболоид 1 със смилещите тела 9 и ротационен параболоид 7 – довеждат до създаване на вибрационно движение на системата, което се предава на смилещите тела. Материалът се разрушава в резултат на стриване вследствие вибрационното му въздействие с мелещите тела.

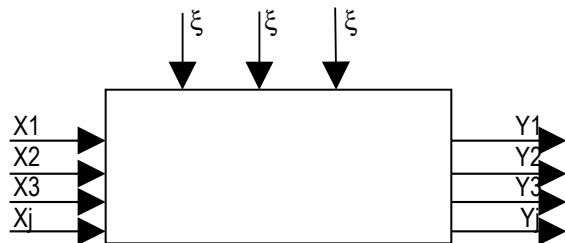


Фигура 1. Принципна схема на ЦУВМ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА РАБОТА

Изследването на работния процес на ЦУВМ бе проведено като се прилага теорията на експеримента (Асенов, 1988; Божанов, 1973 и др.).

Със стрелки входящи в обекта са означени входните параметри ( $x_i$ ) и смущенията ( $\xi_j$ ), а ефективността на процеса се характеризира с целевата функция ( $Y_j$ ).



Фигура 2. Схема на черна кутия

За целите на настоящето изследване, за целевата функция е прието  $Y$ - качеството на смления продукт.

Качеството на готовия продукт се измерва чрез провеждане на ситов анализ, посредством процента на преминалото количество материал през контролно сито (0,008 mm).

Тъй като липсва априорна информация за влиянието на факторите върху целева функция се прави списък на всички фактори. Като управляващи фактори са приети:  $G_m$  - тегло на материала [kg];  $G_t$  - тегло на топките [kg];  $t$  - време на смилане [min];  $n$  - ъглова скорост на подвижния конус [ $\text{min}^{-1}$ ];  $c$  - коефициент на еластичност на пружините [N/m];  $dt$  - диаметър на топките [mm];  $dm$  - диаметър на входящия материал [mm];  $m$  - вид на материала (кварцов пясък).

Проведен бе активен експеримент като се изменяха първите три фактора, а останалите се поддържаха постоянни както следва:  $c = 290 \cdot 10^3$  [N/m];  $n = 800$  [ $\text{min}^{-1}$ ];  $dt = 15$  [mm] и  $dm = 0 \div 3$  [mm].

Основните нива, интервалите на изменение факторите са дадени в таблица 1.

- $X_i = 0$  - означение
- $\lambda_i$  - интервал на изменение
- $X_i = -1$  - долно ниво
- $X_i = +1$  - горно ниво

Таблица 1. Основни нива и интервали на изменение на факторите

Фактори	$X_i = 0$	$\lambda_i$	$X_i = -1$	$X_i = +1$	Размерност
X1- $G_m$	4	1	3	5	[kg]
X2- $G_t$	4	1	3	5	[kg]
X3- $t$	2	1	1	3	[min]

Според (Асенов, 1988; Божанов, 1973) е извършен пълен факторен експеримент от вида  $2^3$ . Матрицата на плана и резултатите от проведения рандомизиран експеримент са дадени в таблица 2.

Таблица 2. План и резултати от експеримента

№	$X_1$ код	$X_2$ код	$X_3$ код	Повторен и опити- $Y$	Ср. Резултат- $Y$
1	-1	-1	-1	80,2 78	79,1
2	+1	-1	-1	43,4 41,2	42,3
3	-1	+1	-1	52,7 49,8	51,25
4	+1	+1	-1	70,3 73,7	72
5	-1	-1	+1	54,8 51,3	53,05
6	+1	-1	+1	76,8 72,1	74,45
7	-1	+1	+1	73,1 79,3	76,2
8	+1	+1	+1	39,3 42,7	41

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИИ

Коефициентите на регресия според Божанов, 1973; Шупов, 1974 се изчисляват с формулата:

$$b_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot Y_i / n \quad (1)$$

Уравнението на регресия за качеството в кодиран вид е:

$$Y = 61.044 - 3.606X_1 - 0.931X_2 + 14.394X_3 + 0.25X_1X_2 + 1.387X_2X_3 - 0.406X_1X_3 \quad (2)$$

Статистически анализ на резултатите (Cohen, 1998):

Тъй като опитите са дублирани може да се провери

$$\frac{1}{G} = \frac{\sum S_i}{S_{\epsilon \max}} = \frac{11,045}{37,77} = 0,2924 \quad (4)$$

$$S_i^2 = \frac{\sum (Y_{pq} - \bar{Y}_p)^2}{l - 1}; \quad l = 2 \quad (3)$$

$$Q_{\epsilon 1} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^v (Y_{pq} - \bar{Y}_p)^2 = 37,775 \quad (5)$$

хипотезата за однородност на дисперсиите по критерия на Кохрен

За шестия опит се получава  $S_{\epsilon \max} = 11.045$

Изчисленият критерий на Кохрен е

От таблица 5 от (Божанов, 1973) определяме табличната му стойност  $G_t = 0,6798$ . Следователно дисперсиите са еднородни.

Според (Божанов, 1973) изчисляваме дисперсията на единичния опит (при равномерно дублирани опити) и при брой на степените на свобода  $v = 8$ .

$$S_{\epsilon 1}^2 = \frac{Q_{\epsilon 1}}{Y_{\epsilon 1}} = \frac{37,775}{8} = 4,722 \quad (6)$$

Оценката на значимостта на коефициентите на регресия в уравнението се извършва по критерия на Студент при ниво на значимост  $\alpha = 0.05$  и 8 брой на степените на свобода  $v = 8$

От таблица 4 от (Божанов, 1973) определяме  $t_t = 2.896$   
Дисперсията за всички коефициенти се изчислява с

$$S^2\{b_i\} = S_{\epsilon 1}^2 / N = 4.722 / 16 = 0,295 \quad (7)$$

Изчисляваме произведението :  $t_t \cdot S^2\{b_i\} = 1,579$

Всички коефициенти, които по абсолютната стойност са по-големи от тази величина са значими.

Окончателният вид на уравнението на регресия е:

$$Y = 61,044 - 3,606X_1 + 14,394X_3 \quad (8)$$

Проверката на адекватност се извършва по критерия на Фишер като изчисленото отношение на дисперсиите е:

$$F = S^2/S_{\epsilon}^2 = 5,7 / 4,722 = 1,207 \quad (9)$$

Където  $S^2 = Q_l / v_l$  - оценка на дисперсията на

$$Q_l = v_l \cdot \sum \left( \bar{Y}_p - \hat{Y}_p \right)^2 = 28,5 \quad (10)$$

неадекватност

$v_l$  – брой на степените на свобода  $v_l = n - k - 1 = 4$   $Q_l$ -сума на дисперсиите :

Табличната стойност на критерия на Фишер при ниво на значимост  $\alpha = 0,05$  и степени на свобода  $v_l = 4$ ,  $v_{\epsilon} = 8$  е  $F_t = 3,69$

Следователно уравнението е адекватно.

За изясняване и влиянието на ъгловата скорост на ротационни парабоид 1 се проведе експеримент, при който за управляващи фактори са приети:

$G_m$ ,  $n$ , и  $t$ , а останалите фактори имат постоянна стойност съответно:  $c = 290 \cdot 10^3$  [N/m];  $dt = 15$  [mm];  $dm = 0 \div 3$  [mm];  $G_t = 4,0$  [kg].

Основните нива, интервалите на изменение факторите са дадени в таблица 3.

$X_i = 0$  – означение

$l_i$  – интервал на изменение

$X_i = -1$  – долно ниво

$X_i = +1$  – горно ниво

Таблица 3. Основни нива и интервали на изменение на факторите.

Фактори	$X_i = 0$	$l_i$	$X_i = -1$	$X_i = +1$	Размерност
$Z_1$	4	1	3	5	[kg]
$Z_2$	1000	200	800	1200	[min <sup>-1</sup> ]
$Z_3$	2	1	1	3	[min]

Матрицата на плана и резултатите от експеримента са дадени в таблица 4.

Таблица 4. Матрица на плана и резултати .

№	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Повторени опити-Y	Среден резултат-Y
1	-1	-1	-1	48,9 51,1	50,2
2	+1	-1	-1	40,4 43,6	42
3	-1	+1	-1	54,9 54,5	54,7
4	+1	+1	-1	44,2 46	45,1
5	-1	-1	+1	62,1 72,7	67,4
6	+1	-1	+1	70,1 74,6	72,7
7	-1	+1	+1	81,5 84,1	82,8
8	+1	+1	+1	72,8 76,0	74,9

За целевата функция  $Y$  получаваме :

$$Y = 61,225 - 2,55X_1 + 3,15X_2 + 13,225X_3 - 1,825X_1X_2 + 1,25X_2X_3 + 1,9X_1X_3 \quad (11)$$

След статистическия анализ получаваме окончателно адекватното уравнение:

$$Y = 61,225 - 2,55.X_1 + 3,15.X_2 + 13,225.X_3 \quad (12)$$

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В резултат на изследванията бе установено, че в зададените интервали на изменение (табл. 3) увеличението на количеството на материала, който се смилва, води до влошаване на качеството на готовия продукт а увеличението на ъгловата скорост на подвижния параболоид 1 и времето за смилане води до подобряване на качеството на готовия продукт.

2. При това увеличаване на  $X_1$  с една единица (т.е. на Gm, с 1 кг) води до намаляване на  $Y$  с 2,55 % .

3. Увеличаването на  $X_2$  с една единица (т.е. на n, с 200[об/min] ) води до увеличаване на  $Y$  с 3,15% .

4. Увеличаването на  $X_3$  с единица (т.е. на t, с 1 min) води до увеличаване на  $Y$  с 13,225 % .

#### ЛИТЕРАТУРА

Асенов Е. "Центробежна ударно-вибрационна мелница" В 02С17/14 ; №24842/07.06.1977 г.

Асенов Е. "Изследване работния процес и параметри на вертикална вибрационна мелница"- дисертация 88 г.

Божанов Е. "Статистически методи за модулиране и оптимизиране на многофакторни обекти" Техника 73 г

Шупов Л. "Прикладные математические методы в обогащении поезных ископаемых" Недра, Москва – 1974 г.

Cohen M.L., Rolph J.E.,Steffey D.L. "Statistics, Testing and Defense Acqnisition: NewApproaches and Methodological Improvements" 1998, National cademyPress , Washington DC.

Препоръчана за публикуване от  
катедра "Механизация на мините", МЕМФ

# RESARCH OF CENTRIFUGAL-IMPACT-VIBRATING MILL /CIVM/ WORKING PROCESS

Emil Assenov

Marieta Yancheva

Raina

Vucheva

TU – Sofia  
Department of logistics  
e\_mail:emil\_assenov@yahoo.com

TU – Sofia  
Department of logistics

UMG “St. Ivan Rilski”  
Sofia 1700, Bulgaria

## ABSTRACT

In this paper is described working process of CIVM, that is protected by patent, using theoretical-experimental method. For objective function is chosen quality of final product and for ruling factors-weight of material in the mill, weight of grinding balls in the mill and time for grinding. A experimental plan is created for two level of the ruling factors. A statistical analyst of the experimental resenst is made.

## INTRODUCTION

CIVM is a mill for fine grinding of are and building materials. It is a new mill protected by patent (Assenov, 1977).

The aim of this paper is to represent the results of theoretical-experimental research of working process of CIVM.

CIVM is built [fig.1] of a rotate parabolic part 1 with vertical axis, a vertical shaft 2, the bearings 3, a plate 4, the springs 5, the base 6, fixed parabolic part 7, the columns 8. There are grinding balls 9 and are falling trough tube 10, and the grids 11.

CIVM is working as follows:

The grinding balls and material [are] to be milled are put into the parabolic part 1. The motor 12 rotate the part 1 and because of that grinding balls and ore are rotated and are raised by the centrifugal forces. These forces press the balls to the inner face of rotated part 1 and grinding the material [ore].

The rotated balls goes to the fixed parabolic part 7. There they press again the material. When the kinetic energy of balls decreases they falls on the bottom of part 1. Here the balls hit the material and crushed. The movement of flow of balls and material call forth the vibrations of the whole mill that is put on the springs 5. These vibrations crush the ore.

Thus the material is crushed by pressure originate from centrifugal forces, by slug of falling balls and finally by vibrations.

## BASE THEOTY AND EXPERIMENTAL WORK

The CIVM working process is studded by cybernetic theory of experiments (Assenov,1988; Bojanov,1973 etc) .

$X_i$  are the input parameters (ruling factors);  $Y_i$  – objective functions and  $\xi$  – disturbance.

In this study for objective function is chosen the quality of product that is measured by the sieve analysis. There is no information for the input parameters that is way, it is made the list of all parameters that would influence on quality. This list is:

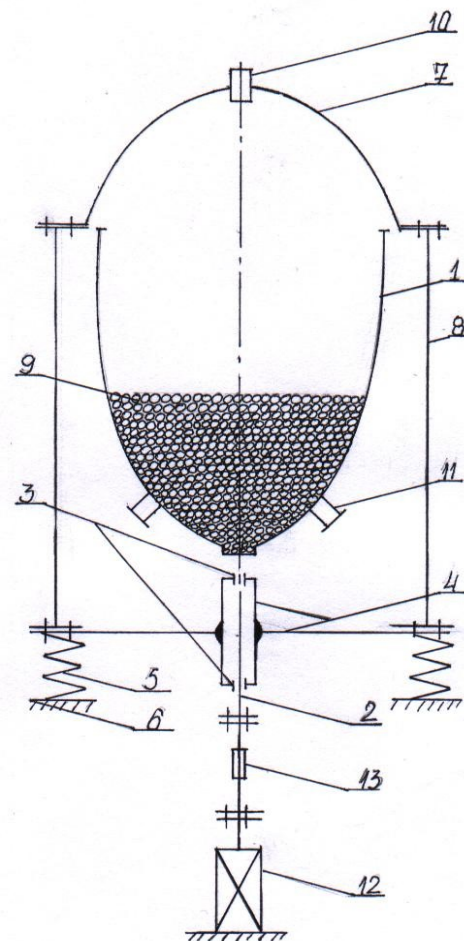


Figure 1. The model of CIVM

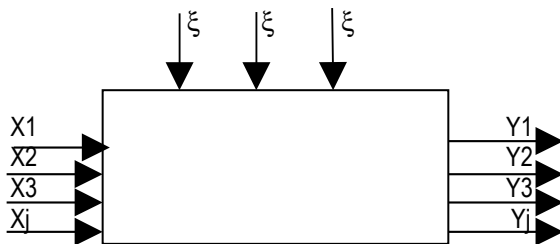


Figure 2. Cybernetic model of black box

Gm- the weight of material [ore] to be grinder [kg];  
 Gt – the weight of the grinning ball [kg];  
 t – the time for grinning [min];  
 n – the angular velocity of parabolic part 1 [min<sup>-1</sup>];  
 c- the stiffness coefficient of the springs [N/m];  
 dt – the ball is diameter [mm];  
 m – sort of material-quartz sand;

An active experiment is made for the first 3 parameters and the another were constant:

$c = 290 \cdot 10^3$  [N/m];  $n = 800$  [min<sup>-1</sup>];  $dt = 15$  [mm];  
 $dm = 0 \div 3$  [mm];

The basic levels, intervals of the input parameters variation are given on table 1.

$X_i = 0$  - Signbasic level  
 $\lambda_i$  - Interval  
 $X_i = -1$  - Lower level  
 $X_i = +1$  - Upper level

Table 1. Basic level for input parameters

parameter	$X_i = 0$	$\lambda_i$	$X_i = -1$	$X_i = +1$	Dimensi on
X1-Gm	4	1	3	5	[kg]
X2-Gt	4	1	3	5	[kg]
X3-t	2	1	1	3	[min]

The matrix of the plan of experiments is 2<sup>2</sup>. The plane of experiments and the result are given in table 2.

Table 2. Matrix plan and experimental results

No	$X_1$ code	$X_2$ code	$X_3$ code	Doubled experiment	Result Y
1	-1	-1	-1	80,20 78	79,1
2	+1	-1	-1	43,4 41,2	42,3
3	-1	+1	-1	52,7 49,8	51,25
4	+1	+1	-1	70,3 73,7	72
5	-1	-1	+1	54,8 51,3	53,05
6	+1	-1	+1	76,8 72,1	74,45
7	-1	+1	+1	73,1 79,3	76,2

8	+1	+1	+1	39,3 42,7	41
---	----	----	----	--------------	----

## THE RESULTS AND DISCUSSIONS

The regression coefficients are calculated by the formulae (Assenov, 1977).

$$b_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot X_{ij} / n \quad (1)$$

The coded regression equation is:

$$Y = 61.044 - 3.606X_1 - 0.931X_2 + 14.394X_3 + 0.25X_1X_2 + 1.387X_2X_3 - 0.406X_1X_3 \quad (2)$$

Statistical analyst:

There are doubled experiments and we can check hypothesis

$$S_i = \frac{\sum \left( Y_{pq} - \bar{Y}_p \right)^2}{l - 1} \quad (3) \quad ; \quad l = 2 \quad ;$$

for homogeneous of dispersions by the Kochren criterion:

The maximum dispersion was for the sixth experiment.

The table value of Kochren criterion is taken from table 5 (Bojanov, 1973) and have  $G_t = 0,6798$ .

Hence the dispersions are homogeneous.

$$\frac{1}{G} = \frac{\sum S_i}{S_{max}} = \frac{11,045}{37,775} = 0,2924 \quad (4)$$

We calculate the dispersion of experiment by condition of uniformity experiments and for degree of freedom  $v = 8$ .

The estimated dispersion is

$$Q_{\epsilon 1} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^v \left( Y_{pq} - \bar{Y}_p \right)^2 = 37,775 \quad (5)$$

$$S_{\epsilon 1}^2 = \frac{Q_{\epsilon \epsilon}}{Y_{\epsilon \epsilon}} = \frac{37,775}{8} = 4,722 \quad (6)$$

Significant regression coefficients are derived using Student's criterion for confidence level  $\alpha = 0,05$  and degree of freedom  $df = 8$ . The student's table value is  $t_r = 2,896$ . We calculate the dispersion of regression coefficients as

$$S^2\{b_i\} = S_{\epsilon 1}^2 / N = 4,722 / 16 = 0,295 \quad (7)$$

, then calculate multiplication:  $t_r \cdot S^2\{b_i\} = 1,579$  (7')

Each coefficient that is greater than (7') are significant.

The final regression equation is

$$Y = 61,044 - 3,606X_1 + 14,394X_3 \quad (8)$$

We check the adequate equation with Fisher criterion.

$$F = S^2 / S_{\epsilon}^2 = 5,7 / 4,722 = 1,207 \quad (9)$$

,where  $S^2 = Q_l / v_l$  is the estimated dispersion of insignificant;  $v_l$  - degree of freedom.

$$QI = VI \cdot \sum \left( \frac{\bar{Y}_p - \hat{Y}_p}{\lambda_i} \right)^2 = 28,5 \quad (10)$$

The table value of  $F_t = 3,69$  is derived from table (Assenov, 1988; Bojnov, 1973 etc.) when  $\alpha=0.05; vl=4; ve=8$ . Hence the regression equation is adequate.

We have made another experiment, where the milling factors were:  $G_m$ ,  $n$  and  $t$ . The  $n$  is angular velocity of the rotated parabolic part 1. The factors were constant.

The basic level, the intervals of variation of the parameters are given on table 3.

$X_i = 0$  - sign  
 $\lambda_i$  - interval  
 $X_i = -1$  - lower level  
 $X_i = +1$  - upper level

Table 3. Basic level, intervals of parameters

Para-Meter	$X_i = 0$	$\lambda_i$	$X_i = -1$	$X_i = +1$	Dimension
$Z_1$	4	1	3	5	[kg]
$Z_2$	1000	200	800	1200	$[\text{min}^{-1}]$
$Z_3$	2	1	1	3	[min]

The plane matrix and the results are given in table 4. The coded regression equation is

Table 4. Matrix plane and the second results

No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Expermental results -Y	Mean value Y
1	-1	-1	-1	48,9 51,1	50,2
2	+1	-1	-1	40,4 43,6	42
3	-1	+1	-1	54,9 54,5	54,7
4	+1	+1	-1	44,2 46	45,1
5	-1	-1	+1	62,1 72,7	67,4
6	+1	-1	+1	70,1	72,7

				74,6	
7	-1	+1	+1	81,5 84,1	82,8
8	+1	+1	+1	72,8 76,0	74,9

The regression equation is

$$Y = 61,225 - 2,55X_1 + 3,15X_2 + 13,225X_3 - 1,825X_1X_2 + 1,25X_2X_3 + 1,9X_1X_3 \quad (11)$$

After statistical analyst is derived final equation

$$Y = 61,225 - 2,55.X_1 + 3,15.X_2 + 13,225.X_3 \quad (12)$$

## CONCLUSION

- From the equation (8) and (12) we draw a conclusion that when the weight of grinding material increases the quality of final product decrease. When the angular velocity of rotated parabolic part 1, and the grinding time increases the quality of final product also increases.
- When we increases the weight of grinding material  $G_m$  with 1 kg this decreases the quality with 2,55%.
- When we increase the angular velocity with 200 [tr/min] this increases the quality with 3,15 %.
- When we increase the grinding time with 1[min] the quality of final product increases with 13,25%.

## REFERENCES

- Assenov E. "Centrifugal impact-vibration mill " B02C17/14; №24842/07.02.77
- Assenov E. "Research of working process and parameters of vertical vibration mill"- dissertation 1988
- Bojanov E. "Statistical methods for modeling and optimizing of multiple objects" Technika -73.
- Shupov L. "The practical mathematical methods in ore dressing" Nedra-Moskva 74.
- Cohen M.L., Rolph J.E., Steffey D.L. "Statistics, Testing and Defense Acqnisation: New Approaches and Methodological Improvements" 1998, National Academy Press, Washington DC.