

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6 РАБОТЕЩА В УСЛОВИЯТА НА ФАБРИКА „ЕЛАЦИТЕ“

Иван Минин¹, Петко Недялков²

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: minin@dir.bg

²Технически университет, 1000 София, E-mail: nedpetko@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Създаден е математичен модел на процеса смилане в барабанна топкова мелница. Определени са управляващите фактори и целевата функция – относителна производителност. Направен е пасивен факторен експеримент в обогатителна фабрика преработваща медни руди. Експериментът е върху барабанни топкови мелници тип МТЦ 4,5х6. Резултатите от експеримента са подложени на анализ посредством програмите Excel и Statgraphics. Получена е функционална зависимост между целевата функция и управляващите фактори.

STUDY OF RELATIVE PRODUCTIVITY OF TUMBLING BALL MILLS TYPE 4,5X6 WORKING UNDER THE CONDITIONS OF PROCESSING PLANT “ELACITE”

Ivan Minin, Petko Nedyalkov

¹University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: minin@dir.bg

²Technical University, 1000 Sofia, E-mail: nedpetko@tu-sofia.bg

ABSTRACT. This paper establishes a mathematical model of the process of grinding in tumbling ball mills. It defines the control factors and the target function – relative productivity. A passive experiment is made in a copper ore processing plant. The experiment is based on tumbling ball mills type 4,5x6. The results of the experiment have been subjected to analysis through Excel and Statgraphics. A functional dependence has been established between the target function and the control factors.

Избор на управляващи фактори и целева функция

В тази статия целта на проведеното изследване е да се опише с математически средства относителната производителност по готов продукт към единица обем на барабана на барабанната топкова мелница. За целта бяха направени измервания върху мелници тип МТЦ 4,5х6 работещи в условията на „Елаците мед“ - АД. Измерванията обхващат периода от 01.01.2004г. до 26.09.2006г. и се отнасят за 4 броя мелници с номера 4, 6, 7 и 8. Измерванията са сравнително ограничени по брой но това бе обосновано от факта, че те се правени само при аварийно и планово-ремонтно спиране на мелниците през този период. Като управляващи фактори в изследването са определени следните параметри:

1. Вътрешна дължина на барабана на мелницата L_B, m . Дължината е определена посредством направени измервания.

2. Вътрешен диаметър на барабана на мелницата D_B, m . Този параметър се определя посредством направени измервания.

3. Маса на смилащата среда M_T, t . Този параметър се изчислява като работният обем на барабана се умножи по коефициентът на запълване с топките и полученото произведение се умножи по плътността на топките, която зависи от диаметъра им.

4. Натоварване на мелницата с руда $Q, t/h$. Този параметър е измерен посредством електронна везна монтирана на лентовия транспортър захранващ мелницата.

5. Съдържание на класа -15 в постъпващата руда $K_{-15}, \%$. Този параметър е получен след ситов анализ на постъпващата в мелницата руда в момента на измерването на другите параметри. Това е отношението на класата - 15 към всичката постъпваща руда.

6. Съдържание на шисти на постъпващата руда $K_{ш}, \%$. Този параметър е получен след ситов анализ на постъпващата в мелницата руда в момента на измерването на другите параметри.

За целева функция е избрана относителната производителност по готов продукт към единица обем на барабана на мелницата $q, t/hm^3$, като тя се получава:

$$q = \frac{Q.K}{V} = \frac{(Q_{BX} - Q_C).K}{V}, t/hm^3 \quad (1)$$

където q е относителна производителност по готов продукт към единица обем, относителна производителност по готов продукт към единица обем, t/hm^3 ;

Q_{BX} - натоварване на мелницата с руда, t/h . Този параметър се измерва посредством електронна везна поставена на захранващата лента на мелницата;

Q_C - количеството не смлян продукт (скрап) излизащ от мелницата, t/h . Този параметър се измерва на изхода на мелницата;

K - качеството на смления продукт, % - отношението на класа – 0,08 към общото количество смляна руда. Този параметър е получен след ситов анализ.

V - вътрешен обем на барабана, m^3 . Този параметър се изчислява.

Като разгледаме внимателно измерените параметри можем да определим следните управляващи фактори:

- L_B - Дължина на барабана, m ;
- D_B - вътрешен диаметър на барабана, m ;
- K_{-15} - съдържание на класа -15 във входящата руда, %;
- Q - натоварването на мелницата с руда, t/h ;
- M_T - маса на смилачната среда, t ;
- $K_{ш}$ - съдържание на шисти в рудата, %.

Получените, резултати от измерванията в "Елаците-мед" АД са преработени и показани в таблица 1.

Статистически анализ

Започваме изследването матрицата на Фишер показана на таблица 1. След обработка на данните получаваме резултати показани в таблица 2.

Таблица 1

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_2
	D_B, m	L_B, m	M_T, t	$K_{-15}, \%$	$Q, t/h$	$K_{ш}, \%$	$q, t/hm^3$
1.	4,08	6,26	151,1	88,9	146	19,2	1,08
2.	4,23	6,23	136,2	86,6	153	15,1	0,974
3.	4,25	6,23	134,6	89,2	147	19,1	0,888
4.	4,27	6,25	129,8	92,8	145	15,9	0,847
5.	4,27	6,27	148,1	91,3	154	36,6	0,948
6.	4,19	6,16	146,3	91,4	145	32,5	1,003
7.	4,3	6,2	115,2	87,2	142	26,9	0,855
8.	4,07	6,2	143,4	87,6	136	11,3	0,994
9.	4,1	6,25	131,7	84,2	132	25,5	0,906
10.	4,12	6,15	134,8	89	138	29,8	0,957
11.	4,2	6,2	148,7	89,5	152	30,1	1,032
12.	4,2	6,2	146,2	89,1	142	29,4	0,977
13.	4,24	6,18	141,6	89,4	145	40	0,968
14.	4,25	6,24	160,9	88,5	145	15,2	0,992

15.	4,27	6,27	162,2	76,2	150	19,9	0,978
16.	4,14	6,18	145,7	89	138	29,8	0,94
17.	4,2	6,2	158,7	92,7	150	27,3	0,964
18.	4,23	6,25	155,7	93	147	24,6	0,938
19.	4,25	6,27	147	89,4	147	36,9	0,963
20.	4,27	6,22	149,5	92,4	148	45,7	0,912
21.	4,14	6,21	174,4	87	140	18,8	1,046
22.	4,18	6,28	166,5	85,8	138	41,6	0,934
23.	4,22	6,31	156,9	87,1	144	20,2	0,897
24.	4,22	6,31	162	93,2	130	32,6	0,806
25.	4,22	6,33	148,5	92,3	154	25,7	0,99
26.	4,23	6,35	154,3	92,3	155	28,5	0,927
27.	4,32	6,22	139	87,2	160	35,4	0,949
28.	4,11	6,15	127,4	79,8	135	22	0,888
29.	4,18	6,22	137,6	92,2	133	24,8	0,842
30.	4,25	6,3	147,1	92,1	141	15,7	0,938
31.	4,18	6,16	144,9	91	153	27,8	0,948
32.	4,24	6,14	161,9	91	154	19	1,001
33.	4,25	6,15	166,1	92	155	21,6	1,035
34.	4,26	6,2	166,5	89	152	24,7	0,902
35.	4,1	6,2	147,7	91,6	155	33,7	1,052
36.	4,12	6,24	149,1	85	160	41,7	1,083
37.	4,23	6,32	158,7	89	155	25,9	1,003
38.	4,27	6,22	149,5	92	148	45,7	0,912
39.	4,3	6,24	155,7	92	144	45	0,871
40.	4,3	6,25	150,8	92	144	38,5	0,855
41.	4,3	6,25	147	89	123	47,9	0,728
42.	4,21	6,28	143,3	92	165	25,8	0,989
43.	4,24	6,29	151,8	90	143	35,4	0,878
44.	4,24	6,33	160,5	89	155	27,6	0,907
45.	4,25	6,15	157,4	90	157	33	0,941

След оценката на значимост на коефициентите на регресия и оценка на адекватността на уравнението се съставя нова матрица на Фишер (таблица 3), в която са изключени не значимите фактори и анализът се повтаря отново. Окончателните резултати от статистическия анализ са дадени в таблица 4.

Броят на набелязаните първоначални управляващи фактори се съкращава, след което се определят и отсяват съществени от несъществени управляващи фактори. Избора на съществени фактори се извършва като се проследят следните етапи: първо – избират се съществени фактори на базата на проучването на същността на обекта. Този етап е ефикасен само при не много сложни и добре проучени обекти. В противен случай, следващият етап е – избор на съществени фактори на ранжиране. Този етап се извършва чрез помощта на анкета на добри специалисти в областта. Когато и мнението на специалистите не съпада съществени фактори се получават чрез провеждане на предварителни експерименти. Идеята за експерименталното отсяване на факторите се базира на допускането, че съществени фактори ще проявят своя ефект при сравнително малко експериментални данни.

Таблица 2

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,86368							
R Square	0,745943							
Adjusted R Square	0,705829							
Standard Error	0,038903							
Observations	45							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	6	0,168857	0,028143	18,59546	5,97E-10			
Residual	38	0,05751	0,001513					
Total	44	0,226367						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	3,959963	0,723221	5,475453	2,98E-06	2,495879	5,424048	2,495879	5,424048
X Variable 1	-0,62024	0,102282	-6,06407	4,65E-07	-0,8273	-0,41319	-0,8273	-0,41319
X Variable 2	-0,19786	0,11204	-1,76599	0,085432	-0,42467	0,028952	-0,42467	0,028952
X Variable 3	0,001414	0,000523	2,705662	0,01015	0,000356	0,002473	0,000356	0,002473
X Variable 4	-0,00159	0,001822	-0,87009	0,389716	-0,00527	0,002103	-0,00527	0,002103
X Variable 5	0,005326	0,000707	7,53699	4,67E-09	0,003895	0,006756	0,003895	0,006756
X Variable 6	-0,00066	0,000671	-0,97843	0,334051	-0,00201	0,000702	-0,00201	0,000702

Таблица 3

№	X_1, X_1, X_2	X_3	X_5	Y_2
	D_5, D_5, L_5, m^3	M_T, t	$Q, t / h$	$q, t / hm^3$
1.	104,21	151,1	146	1,08
2.	111,47	136,2	153	0,974
3.	112,53	134,6	147	0,888
4.	113,96	129,8	145	0,847
5.	114,32	148,1	154	0,948
6.	108,15	146,3	145	1,003
7.	114,64	115,2	142	0,855
8.	102,70	143,4	136	0,994
9.	105,06	131,7	132	0,906
10.	104,39	134,8	138	0,957
11.	109,37	148,7	152	1,032
12.	109,37	146,2	142	0,977
13.	111,10	141,6	145	0,968
14.	112,71	160,9	145	0,992
15.	114,32	162,2	150	0,978
16.	105,92	145,7	138	0,94
17.	109,37	158,7	150	0,964
18.	111,83	155,7	147	0,938
19.	113,25	147	147	0,963
20.	113,41	149,5	148	0,912
21.	106,44	174,4	140	1,046
22.	109,73	166,5	138	0,934

23.	112,37	156,9	144	0,897
24.	112,37	162	130	0,806
25.	112,73	148,5	154	0,99
26.	113,62	154,3	155	0,927
27.	116,08	139	160	0,949
28.	103,89	127,4	135	0,888
29.	108,68	137,6	133	0,842
30.	113,79	147,1	141	0,938
31.	107,63	144,9	153	0,948
32.	110,38	161,9	154	1,001
33.	111,08	166,1	155	1,035
34.	112,52	166,5	152	0,902
35.	104,22	147,7	155	1,052
36.	105,92	149,1	160	1,083
37.	113,08	158,7	155	1,003
38.	113,41	149,5	148	0,912
39.	115,38	155,7	144	0,871
40.	115,56	150,8	144	0,855
41.	115,56	147	123	0,728
42.	111,31	143,3	165	0,989
43.	113,08	151,8	143	0,878
44.	113,80	160,5	155	0,907
45.	111,08	157,4	157	0,941

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,855703							
R Square	0,732227							
Adjusted R Square	0,712634							
Standard Error	0,03845							
Observations	45							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	3	0,165752	0,055251	37,37157	8,34E-12			
Residual	41	0,060615	0,001478					
Total	44	0,226367						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1,351538	0,190874	7,080793	1,27E-08	0,966061	1,737016	0,966061	1,737016
X Variable 1	-0,01257	0,001624	-7,73852	1,52E-09	-0,01585	-0,00929	-0,01585	-0,00929
X Variable 2	0,001371	0,000507	2,703402	0,009944	0,000347	0,002394	0,000347	0,002394
X Variable 3	0,005322	0,000689	7,728088	1,58E-09	0,003931	0,006712	0,003931	0,006712

За целевата функция Y получаваме следният модел на регресия:

$$Y = 1,351 - 0,0126.X_1.X_2 + 0,0014.X_3 + 0,0053.X_5 \quad (2)$$

Или написана с действителните параметри моделът изглежда по следния начин:

$$q = 1,351 - 0,012.D_E.D_E.L_E + 0,0014.M_T + 0,0053.Q \quad (3)$$

От полученият модел (формула) е видно, че относителната производителност ще е стойност близка до една константа 1,351. Това се дължи от фактът, че експериментът е пасивен и входящите фактори се изменят в малък интервал. От друга страна програмата Regression от Data Analysis на Excel не позволява получаване на зависимост без константа.

Поради тези причини резултатите от експеримента ги обработваме статистически и с програмата STATGRAPHICS, която е по подходяща за научни изследвания. Получихме четири модела, два с константа, а другите без такава. Параметрите на моделите са показани в таблици 5, 6, 7 и 8.

Таблица 5. Параметри на модел №1

Multiple Regression				
Dependent variable: q				
E independent variable:		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statis	P-Value
CONSTANT	1.35154	0.190874	7.080	0.0000
$D_E.D_E.L_E$	-0.0125712	0.0016245	-	0.0000
M_T	0.00137058	0.000506983	2.703	0.0099
Q	0.00532172	0.000688621	7.728	0.0000

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0.165752	3	0.05525	37.37	0.00
Residual	0.0606149	41	0.001478		
Total	0.226367	44			

R-squared = 73.2227 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 71.2634 percent
Standard Error of Est. = 0.0384501
Mean absolute error = 0.0307293
Durbin-Watson statistic = 1.50881 (P=0.0331)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.185999

$$q = 1,35 - 0,012.D_E.D_E.L_E + 0,0013.M_T + 0,0053.Q \quad (4)$$

Таблица 6. Параметри на модел №2

Multiple Regression					
Dependent variable: q					
E independent variable:		Standard	T		
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value	
$D_B.D_B.L_B$	-0.00327	0.00140	-2.3226	0.0251	
M_T	0.002124	0.00073	2.90925	0.0058	
Q	0.006737	0.00097	6.94028	0.0000	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value
Model	40.1135	3	13.3712	4167.97	0.00
Residual	0.13473	42	0.00320		
Total	40.2482	45			

R-squared = 99.6652 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.6493 percent
Standard Error of Est. = 0.0566399
Mean absolute error = 0.0461545
Durbin-Watson statistic = 1.03504
Lag 1 residual autocorrelation = 0.403769

$$q = -00327.D_B.D_B.L_B + 002124.M_T + 0,00674.Q \quad (5)$$

Таблица 7. Параметри на модел №3

Multiple Regression					
Dependent variable: q					
E independent variable:		Standard	T		
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value	
D_B	-0.02334	0.0423129	-0.55169	0.584	
Q	0.005531	0.0010767	5.1371	0.000	
M_T	0.001542	0.0007842	1.9674	0.055	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value
Model	40.097	3	13.3658	3718.80	0.00
Residual	0.1509	42	0.003591		
Total	40.248	45			

R-squared = 99.6249 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.6071 percent
Standard Error of Est. = 0.0599508
Mean absolute error = 0.0485573
Durbin-Watson statistic = 1.15291
Lag 1 residual autocorrelation = 0.346883
 $q = -0,02334.D_B + 0,00553.Q + 0,00154.M_T$ (6)

Таблица 8. Параметри на модел №4

Multiple Regression					
Dependent variable: q					
E independent variable:		Standard	T		
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value	
D_B	-0.7024	0.096402	-7.2865	0.00	
Q	0.00118	0.000523	2.26087	0.029	
M_T	0.00538	0.000715	7.53191	0.00	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value
Model	0.161377	3	0.05379	33.94	0.00
Residual	0.06499	41	0.00158		
Total	0.226367	44			

R-squared = 71.29 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 69.1892 percent
Standard Error of Est. = 0.0398136
Mean absolute error = 0.0317801
Durbin-Watson statistic = 1.36343 (P=0.0091)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.289627

Препоръчана за публикуване от катедра
„Механизация на мините”, МЕМФ

$$q = 2,938 - 0,70244.D_B + 0,001183.M_T + 0,005388.Q \quad (7)$$

От всички получени модели с най-добри показатели (Таблица 6) е модел №2 и той може да бъде оценен като модел с голяма адекватност. Коефициентът на множествена корелация R^2 е 99,6%, а коригираният коефициент на множествена корелация $R^2(adj)$ е над 99%. Този модел има най-добри показатели на оценка спрямо всички останали. Стойността на показателя на доверителна вероятност **P-Value** за модела е под критичната **0,05**, т.е. може да се приеме, че моделът е адекватен с доверителна вероятност над 99%. Тогава уравнението на модела с натурални променливи е:

$$q = -00327.D_B.D_B.L_B + 002124.M_T + 0,00674.Q \quad (8)$$

Изводи

Относно получените резултати от измерванията и статистическия анализ на относителната производителност по преработена руда към единица обем на мелницата можем да направим следните изводи:

- относителната производителност по преработена руда към единица обем на мелницата се влияе в голяма степен от четири параметъра, а именно от вътрешният диаметър и дължина на мелницата, натоварването на машината с руда и количеството на смилащите тела;

- повишаването на натоварването на мелницата с руда води до нарастване на относителната производителност на машината;

- повишаването на количеството топки води до нарастването на относителната производителност;

- увеличаването на износването на облицовките на мелницата което увеличава вътрешния диаметър и дължина на барабана води до намаляване на относителната производителност на машината.

Литература

- Вучков, И.А., Стоянов, С.К., "Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти", София, Техника, 1980г.
- Божанов Емил С., Вучков Иван Н., "Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти", София, Техника, 1973 г.
- Божанов Емил С., Вучков Иван Н., "Статистически решения в производството и научните изследвания", София, Техника, 1979г.