

УДК 621.311

И.Е. Васильев, Р.В. Клюев

**ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
КОМБИНАТАХ**

Семинар № 20

Одним из основных направлений развития горнодобывающей промышленности РСО-А является использование производственных мощностей Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), добывающего полиметаллические руды на Садонском, Згидском и Архонском месторождениях и освоение, в первую очередь, участка Бозанг Джимидонского месторождения. По предварительным подсчетам специалистов объем суммарных запасов этих месторождений составляет около 1,4 млн т руды, содержащей 35 тыс. т свинца и 90 тыс. т цинка. Планируемый объем переработки руды на ССЦК достигнет 100 тыс. т с получением около 3 тыс. т свинца и 7 тыс. т цинка в концентрате. В период существования СССР ССЦК поставлял почти треть сырья для крупнейшего предприятия по производству цинка РФ ОАО «Электроцинк». По ряду причин, вызванных новой рыночной экономикой и уменьшением запасов сырья в 2002 г. комбинат был остановлен. В начале 2004 г. ОАО «Электроцинк» вошло в состав ОАО «УГМК-Холдинг» и в связи с существенным увеличением объемов производства свинца и цинка, возникла необходимость в добыче большего объема полиметаллических руд. Руководством УГМК было принято решение о вхождении ССЦК в холдинг и создании на его базе Са-

донского рудоуправления (РУ). Принятое решение позволяет уже в ближайшем будущем решить важную и актуальную задачу по увеличению добычи имеющихся запасов сырья горных районов РСО-А.

На кафедре ЭПП СКГМИ (ГТУ) в течение ряда лет проводились исследования электропотребления ССЦК и анализ основных показателей его работы. В результате анализа в качестве значимых параметров были определены следующие: X_1 – потребление электроэнергии, МВтч; X_2 – максимум нагрузки, МВт; X_3 – добыча руды, т; X_4 – объем горно-капитальных работ, т; X_5 – проходка горных выработок, м; X_6 – списочное число рабочих, чел.; X_7 – количество смен, ч. (1 смена – 6 ч.); X_8 – геологоразведочное бурение, м;

Обобщенный (интегральный) показатель эффективности использования электроэнергии по добыче руды (E) определяется по выражению [1]:

$$E = \frac{W_{уд}}{\Pi_{тр}}, \frac{\text{МВт} \cdot \text{ч}^2 \cdot \text{чел}}{\text{т}^2}, \quad (1)$$

где $W_{уд} = \frac{X_1}{X_3}$ – удельный расход электроэнергии на добычу руды, МВтч/т;

$\Pi_{тр} = \frac{X_3}{X_6 \cdot X_7}$ – производительность

труда по добыче руды, т/чел. · ч.

В качестве независимых по размерности (базовых) параметров принимаем: X_4 , т; X_6 , чел.; X_7 , ч.; X_8 , м. Для формирования безразмерных критериев используем теорию подобия [2]. Формула размерностей при этом имеет вид:

$$P_i = \frac{X_i}{X_4^{\alpha_i} \cdot X_6^{\beta_i} \cdot X_7^{\gamma_i} \cdot X_8^{\delta_i}}, \quad (2)$$

где $I = 1, 2, 3, 5$; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ – коэффициенты.

Для расчета критериев подобия (P_i) составляем матрицу показателей степени размерности величин X_i (табл. 1).

В табл. 1 по столбцам ($m=4$) расположены независимые переменные X_4, X_6, X_7, X_8 , а по строкам ($n=8$) – все показатели X_i . Расчет коэффициентов $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ производится путем решения системы уравнений для каждого из i -го критерия подобия P_i . Матрица заполняется показателями степени размерностей.

Так, для X_1 (электропотребление) имеем: $[\text{МВт} = \frac{\text{т} \cdot \text{м}^2}{\text{ч}} \cdot \text{ч} = \text{т} \cdot \text{м}^2]$, соответственно: $X_4 \cdot X_8^2$. В левой части уравнения записываются численные значения показателей $X_4=1, X_6=0, X_7=0, X_8=2$, а в правой – значения тех же показателей, взятых в соответ-

ствующих столбцах матрицы. Система уравнений для расчета $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \delta_1$ имеет вид:

$$\begin{cases} 1 = 1 \cdot \alpha_1 + 0 \cdot \beta_1 + 0 \cdot \gamma_1 + 0 \cdot \delta_1 \\ 0 = 0 \cdot \alpha_1 + 1 \cdot \beta_1 + 0 \cdot \gamma_1 + 0 \cdot \delta_1 \\ 0 = 0 \cdot \alpha_1 + 0 \cdot \beta_1 + 1 \cdot \gamma_1 + 0 \cdot \delta_1 \\ 2 = 0 \cdot \alpha_1 + 0 \cdot \beta_1 + 0 \cdot \gamma_1 + 1 \cdot \delta_1 \end{cases} \quad (3)$$

В результате решения (3) получаем: $\alpha_1 = 1, \beta_1 = 0, \gamma_1 = 0, \delta_1 = 2$. Критерий подобия электропотребления согласно (2) будет равен:

$$P_1 = \frac{X_1}{X_4^{\alpha_1} \cdot X_6^{\beta_1} \cdot X_7^{\gamma_1} \cdot X_8^{\delta_1}} = \frac{X_1}{X_4 \cdot X_8^2}.$$

Критерии подобия, найденные аналогично, составили:

$$P_2 = \frac{X_3}{X_4} \text{ (критерий подобия добычи}$$

$$\text{руды); } P_3 = \frac{X_5}{X_8} \text{ (критерий подобия}$$

проходки горных выработок);

$$P_4 = \frac{X_2 \cdot X_7}{X_4 \cdot X_8^2} \text{ (критерий подобия мак-$$

симула нагрузки).

Для обобщенного показателя (E) критерий подобия равен:

$$P = \frac{E \cdot X_4}{X_6 \cdot X_7 \cdot X_8^2}. \quad (4)$$

Анализ производственных данных ССЦК за ряд предыдущих лет по отдельным кварталам позволил получить представительные выборки данных, приведенные в табл. 2.

График изменения критериев подобия P_1, P_2, P_3, P_4 , по отдельным кварталам в течение 5 лет приведен на рис. 1.

Гистограмма изменения по кварталам обобщенного показателя эффективности использования электроэнергии по до-

Таблица 1

Матрица показателей степени размерностей X_i

X_4 , т	X_6 , чел.	X_7 , ч.	X_8 , м	
1	0	0	2	X_1 , МВтч
1	0	-1	2	X_2 , МВт
1	0	0	0	X_3 , т
1	0	0	0	X_4 , т
0	0	0	1	X_5 , м
0	1	0	0	X_6 , чел.
0	0	1	0	X_7 , ч.
0	0	0	1	X_8 , м

Таблица 2

Основные параметры работы ССЦК

Год	Квартал	X ₁ , МВтч	X ₂ , МВт	X ₃ , т	X ₄ , т	X ₅ , м	X ₆ , чел.	X ₇ , ч	X ₈ , м
1	I	3152	2,92	38080	988,4	283	229	350,4	501
	II	3202	2,93	39088	1330	333	235	397,2	513
	III	3096	2,8	37716	1456	199	243	396,6	368
	IV	2788	2,53	34524	742	422	227	411	362
2	I	2764	2,56	43512	1459	456	242	348	482
	II	2997	2,74	39116	1487	399	241	384	384
	III	3415	3,09	42812	1296	424	252	396	365
	IV	3743	3,39	43092	1596	413	259	372	473
3	I	3640	3,37	45808	1481	382	249	363,6	563
	II	3375	3,09	42980	1422	393	270	346,2	452
	III	3544	3,21	45192	1462	380	260	378	453
	IV	3696	3,35	46480	1574	471	254	375,6	535
4	I	3619	3,35	47600	1215	403	281	405,6	347
	II	3346	3,06	43876	1067	271	277	387,6	407
	III	3419	3,1	45696	809,2	390	265	370,2	303
	IV	3302	2,99	43204	834,4	293	263	364,8	341
5	I	3276	3,03	42476	1044	216	273	352,2	433
	II	3219	2,95	41440	1280	376	273	341,4	339
	III	3423	3,1	44044	1072	366	270	381	337
	IV	3032	2,75	39312	1333	357	275	342	153

быче руды, рассчитанного по выражению (1), приведена на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что на значения показателя E определенное влияние оказывают климатические условия, главным образом температура окружающей среды. Так, среднее значение показателя E по кварталам составило: $E=0,162$ (I кв.); $E=0,182$ (II кв.); $E=0,182$ (III кв.); $E=0,186$ (IV кв.).

С помощью статистического аппарата программы Excel получены уравнения регрессии, аппроксимирующие исходные данные выборок по методу наименьших квадратов (МНК). Для критериев подобия электропотребления и максимума нагрузки они описываются следующими линейными уравнениями множественной регрессии с коэффициентами достоверности аппроксимации (детерминации) (R^2):
 $\Pi_1=5,63 \cdot 10^{-4} \cdot \Pi_2+0,044 \cdot \Pi_3-0,04$

$$(R^2 = 0,82);$$

$$\Pi_4=2,08 \cdot 10^{-4} \cdot \Pi_2+0,014 \cdot \Pi_3-0,013$$

$$(R^2 = 0,84).$$

Достаточно высокие значения $R^2 \approx 1$ позволяют использовать полученные уравнения регрессии для расчета критериев подобия электропотребления и нагрузки. Для прогнозирования критерия Π_1 на краткосрочный поквартальный период следующего года получены следующие уравнения регрессии зависимости $\Pi_1=f(t)$ в виде полиномов со значениями $R^2=1$:
 $\Pi_{1(n+1)} = -0,002t^4 + 0,025t^3 - 0,092t^2 + 0,13t - 0,047$ (I кв.);
 $\Pi_{1(n+1)} = -0,0012t^4 + 0,015t^3 - 0,063t^2 + 0,105t - 0,0475$ (II кв.);
 $\Pi_{1(n+1)} = -0,0062t^4 + 0,071t^3 - 0,277t^2 + 0,43t - 0,203$ (III кв.);
 $\Pi_{1(n+1)} = -0,0001t^4 + 0,003t^3 - 0,0086t^2 - 0,0135t + 0,0476$ (IV кв.).

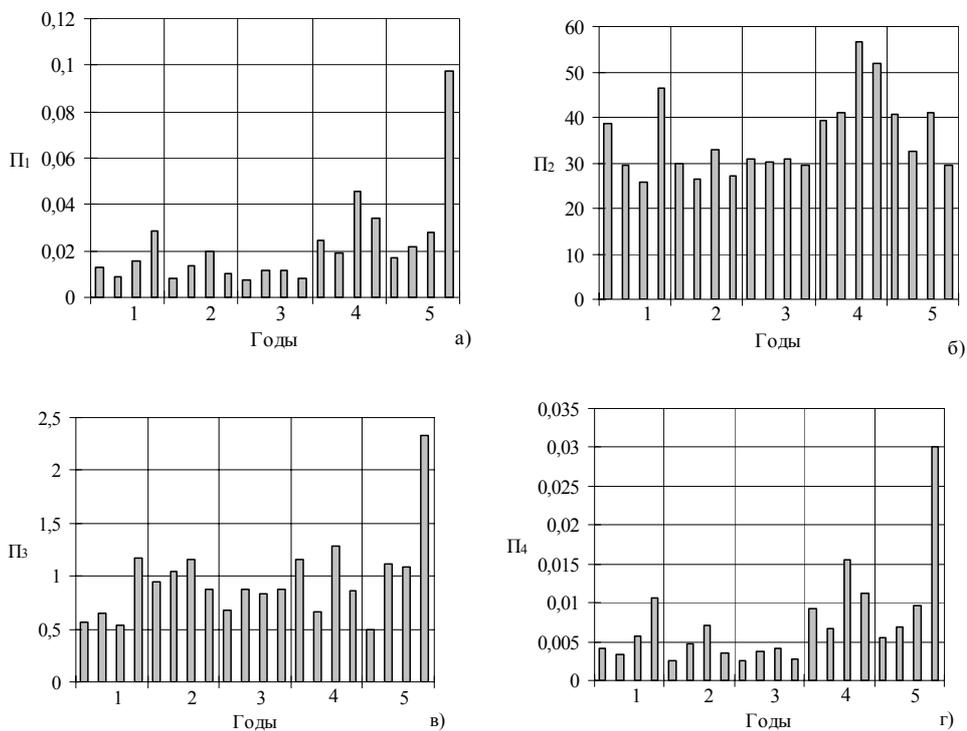


Рис. 1. График изменения критериев подобия $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ во времени

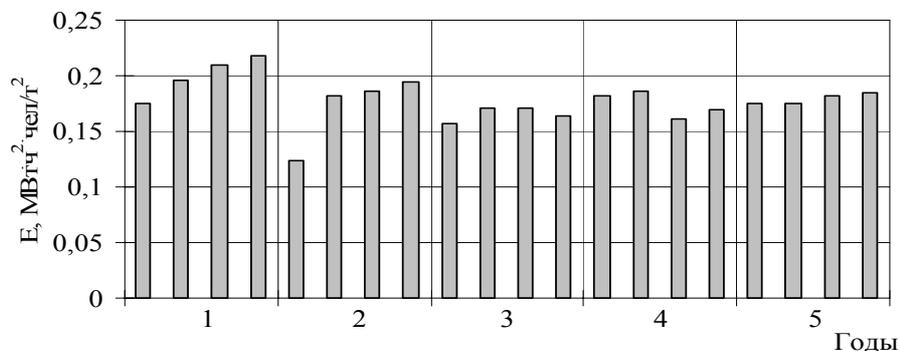


Рис. 2. Гистограмма изменения показателя E по кварталам в течение 5 лет

Уравнение регрессии зависимости электропотребления от основных параметров работы ССЦК в натуральных единицах, полученное по МНК:
 $X_1=0,04 \cdot X_3+0,107 \cdot X_4-0,168 \cdot X_5+$

$$+6,39 \cdot X_6+3,15 \cdot X_7+0,96 \cdot X_8-1642 \quad (5)$$

$(R^2=0,67)$.

Проверка уравнения (5) по t -критерию Стьюдента при уровне значимости $\alpha=0,05$ показала значимость

Таблица 3

Уравнения регрессии зависимости среднегодовых значений основных параметров работы ССЦК от времени

№ п/п	Уравнение регрессии	R ²
1	$X_1=44,771t^4 - 554,37t^3 + 2288,9t^2 - 3487,2t + 4767,5$	1
2	$X_2=0,0418t^4 - 0,5177t^3 + 2,142t^2 - 3,2785t + 4,4075$	1
3	$X_3=39,6671t^4 - 597,33t^3 + 1692,8t^2 - 3288,8t + 32928$	1
4	$X_4=60,6771t^4 - 644,01t^3 + 2194,6t^2 - 2655,4t + 2173,2$	1
5	$X_5=1,1667t^4 + 1,5833t^3 - 103,79t^2 + 396,54t + 13,75$	1
6	$X_6=-1,01t^4 + 11,563t^3 - 46,74t^2 + 89,438t + 180,25$	1
7	$X_7=-3,7563t^4 + 41,012t^3 - 149,84t^2 + 204,99t + 296,4$	1
8	$X_8=27,25t^4 - 324,29t^3 + 1306,9,6t^2 - 2069,3t + 1495,5$	1

всех коэффициентов уравнения. Уравнение (5) может быть использовано для поквартального (среднегодового) прогнозирования при заданных предприятию планируемых показателей ($X_1 - X_8$) на следующий год.

Для получения среднегодовых прогнозных значений основных параметров работы ССЦК получены уравнения регрессии, приведенные в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что коэффициент детерминации равен 1, что указывает на возможность использования полученных уравнений регрессии для расчета и прогнозирования основных

параметров работы ССЦК в динамике изменения производственной ситуации на предприятии.

Разработанная методика алгоритма расчета критериев подобия и полученные в работе результаты могут быть использованы при проведении энергетического обследования (энергоаудита) на горнодобывающих предприятиях РСО-А.

Исследования проводились в рамках использования гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1324.2007.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев И.Е.* Анализ, расчёт и прогнозирование потребления электроэнергии в горнорудной промышленности: Монография. Владикавказ: СОГУ, 1992. - 196 с.

2. *Веников В.А., Веников Г.В.* Теория подобия и моделирования. - М.: Высшая школа, 1984. - 439 с.

3. *Васильев И.Е., Кирпичёва С.И., Клюев Р.В., Щуров С.О.* Анализ, расчёт и прогнозирование энергоэкономических показателей промышленных предприятий цветной металлургии РСО-Алания. // Сборник статей Республиканской НПК «Практика,

проблемы и перспективы становления реальной экономики в РСО-Алания. - Владикавказ, 2000. - С. 103-108.

4. *Васильев И.Е., Клюев Р.В.* Оптимальное управление потреблением электроэнергии как один из важнейших аспектов социально-экономического развития горных территорий РСО-Алания. // Материалы V международной конференции «Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования». - Владикавказ, 2004, с. 32-34. **IVAB**

Коротко об авторах

Васильев И.Е., Клюев Р.В. – Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.В. Ляхомский*.