

УДК 65

*Н.И. Федунец, С.Н. Гончаренко*

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ  
ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ  
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Семинар № 14

---

**В** условиях рыночной экономики, где соприкасаются и согласовываются интересы производителя и потребителя и где конкуренция между ними оптимизирует уровень цен и объемы производства, основными показателями эффективной деятельности предприятия является конкурентоспособность производимой продукции, получение необходимой прибыли и надлежащей рентабельности производства. Одним из условий решения этих, ставших весьма актуальными, задач является целенаправленное управление производственными параметрами основных технологических циклов деятельности предприятия. Анализ слагаемых основных производственных циклов позволяет выявлять факторы эффективности производства, имеющие между собой тесные взаимозависимости, которые могут обеспечить возможность управления системой основных технико-экономических показателей деятельности предприятия.

Несмотря на достаточно полное освещение в теоретических исследованиях различных сторон управления производственными процессами на предприятии, многие вопросы остаются дискуссионными. Так не существует единства взглядов по вопросу управления сложными производственными системами с

множеством технико-технологических, организационных и экономических показателей и параметров. В этой связи многие аспекты эффективной взаимосвязки основных технологических циклов деятельности горнодобывающего предприятия до сих пор остаются не проработанными.

Тривиальное измерение тесноты связей между показателями технологических циклов и построение традиционных изолированных уравнений регрессии недостаточно для описания сложных производственных систем, включающих, как правило, несколько технологических циклов. Использование отдельных уравнений регрессии, исходя из основных предпосылок регрессионного анализа, предполагает возможность изолированного изменения технико-экономических показателей независимо друг от друга. Однако, такое моделирование не является приемлемым для раскрытия внутренних взаимосвязей производственного процесса, при котором изменение одного показателя обязательно повлечет за собой изменения во всей системе взаимосвязанных признаков. Следовательно, отдельно взятое уравнение множественной регрессии не может характеризовать истинные влияния отдельных параметров производственного процесса на вариацию результи-

рующих показателей эффективности. Поэтому одной из основных задач управления производственными параметрами основных технологических циклов является описание структуры их связей, которая может быть решена с использованием системы структурных уравнений.

Система структурных уравнений (или структурная форма модели) содержит эндогенные (зависимые переменные, число которых равно числу уравнений в системе) и экзогенные (предопределенные переменные, влияющие на эндогенные переменные, но не зависящие от них) переменные.

Наиболее приемлемой для задач управления производственными параметрами технологических циклов горнодобывающего предприятия является структурная модель в виде системы рекурсивных уравнений. В правой части она содержит при эндогенных и экзогенных переменных коэффициенты  $b_i$  и  $a_j$  соответственно, которые принято называть структурными коэффициентами модели.

$$\begin{cases} y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1m}x_m + \varepsilon_1, \\ y_2 = b_{21}y_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2m}x_m + \varepsilon_2, \\ y_3 = b_{31}y_1 + b_{32}y_2 + a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3m}x_m + \varepsilon_3, \\ \dots \\ y_n = b_{n1}y_1 + b_{n2}y_2 + \dots + b_{n,n-1}y_{n-1} + a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nm}x_m + \varepsilon_n \end{cases}$$

В данной системе любая зависимая переменная  $y$  может включаться в каждое последующее уравнение наряду с набором собственно факторов  $x$ .

В качестве экзогенных переменных были выбраны параметры производственного процесса, которые могут быть объектом регулирования. В результате управления экзогенными переменными возможно получить целевые и прогнозные значения эндогенных переменных (показателей эффективности).

Использование традиционного метода наименьших квадратов для оценивания структурных коэффициентов модели дает смещенные и несостоятельные оценки. Поэтому, для определения структурных коэффициентов модели структурная форма модели преобразуется в *приведенную форму модели*.

Приведенная форма модели представляет собой систему линейных функций следующего вида:

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{1m}x_m, \\ y_2 = \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{2m}x_m, \\ \dots \\ y_n = \delta_{n1}x_1 + \delta_{n2}x_2 + \delta_{nm}x_m, \end{cases}$$

где  $\delta_j$  – коэффициенты приведенной формы модели.

При обратном переходе от приведенной формы модели к структурной возникает проблема идентификации (единственность соответствия между приведенной и структурной формами модели).

С позиции идентифицируемости структурные модели можно подразделить на три вида: идентифицируемые; неидентифицируемые; сверхидентифицируемые.

Выполнение условия идентифицируемости модели проверяется для каждого уравнения системы. Чтобы

уравнение было идентифицируемо, необходимо, чтобы число предопределенных переменных, отсутствующих в данном уравнении, но присутствующих в системе, было равно числу эндогенных переменных в данном уравнении без одного.

Обозначив число эндогенных переменных в  $j$ -м уравнении системы через  $H$ , а число экзогенных (предопределенных) переменных, которые содержатся в

системе, но не входят в данное уравнение, – через  $D$ , условие идентифицируемости модели может быть записано в виде следующего счетного правила:  $D + 1 = H$  – уравнение идентифицируемо;  $D + 1 < H$  – уравнение неидентифицируемо;  $D + 1 > H$  – уравнение сверхидентифицируемо.

Для оценки параметров структурной модели система должна быть идентифицируема или сверхидентифицируема.

Наиболее приемлемым для оценки параметров технологических циклов горнодобывающего предприятия является косвенный метод наименьших квадратов, который возможно применить при условии точно идентифицируемой структурной модели. Процедура применения косвенного метода наименьших квадратов предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Преобразование структурной модели в приведенную форму;

Шаг 2. Оценка коэффициентов ( $\delta_{ij}$ ) приведенной формы модели методом наименьших квадратов

Шаг 3. Трансформация коэффициентов приведенной формы модели в параметры структурной модели.

Шаг 4. Оценка значимости модели через  $F$ -критерий и  $R^2$  для каждого уравнения в отдельности.

Следующим этапом необходимо построение собственно системы структурных уравнений, которые имеют следующий вид:

$$y_i = \sum \gamma_{ij} y_j + \sum \beta_{ai} x_i + u_i,$$

где  $\gamma_{ij}, \beta_{ai}$  – коэффициенты при соответствующих переменных.

Построенные структурные модели параметров основных технологических циклов горнодобывающего предприятия позволяют оценить непосредственное и полное их влияние на показатели эффективности (эндогенные переменные), определяя при этом их целе-

вые значения, а также прогнозировать деятельность предприятия в целом как системы. Определение вида и характера связей переменных, предопределяет необходимость применения путевого анализа ( $p$ -анализа).

Основой метода ( $p$ -анализа) является предположение об аддитивности и линейности связей между переменными.

$$x_i = \sum g_{ij} x_j + g_{iu} x_{ui}$$

где  $x_{ui}$  – фактор, действующий на  $x_i$  и обозначающий действие на  $x_i$  всех переменных, не включенных в множество  $\{x_j\}$ ;  $g_{ij}$  – расчетные константы;  $g_{iu}$  – коэффициент влияния  $x_{ui}$  на  $x_i$ .

Использование линейных зависимостей между всеми переменными делает  $p$ -анализ специальным случаем регрессионного анализа, в котором коэффициенты регрессии интерпретируются в терминах причинно-следственных отношений.

С учетом воздействий, постулируемых в информационной модели предприятия, по основной теореме путевого анализа  $r_{ij} = \sum p_{ik} r_{kj}$  полная связь двух переменных раскладывалась на прямую и косвенную.

Прямое влияние одной переменной на другую измеряется коэффициентом  $p_{ij}$  и в этом случае в цепи между переменными промежуточные звенья должны отсутствовать. Косвенное влияние определяется составляющими совокупного влияния одной переменной на другую, которое образуется при учете эффекта передачи воздействия через посредство переменных, специфицированных в модели как промежуточные звенья в причинной цепи, связывающей изучаемые переменные. Поскольку строение совокупного влияния всецело зависит от постулируемой причинной структуры отношений между переменными, то эти влияния возможно учесть только лишь при построении причинной модели с за-

данным графом связей. Тем не менее, использование *p*-анализа связано с рядом трудностей. Прежде всего, не всегда можно считать, что линейная зависимость в состоянии удовлетворительно отразить все разнообразие причинно-следственных связей в реальных структурах. Кроме того, следует учитывать, что в качестве исходных статистических данных для *p*-анализа выступают только лишь количественные переменные.

Таким образом, управление производственными параметрами основных технологических циклов горнодобывающего предприятия возможно осуществить на основе предложенных структурных моделей и методов. Моделирование производилось с использованием программы STATISTICA в модуле SEPATH («Моделирование структурными уравнениями»).

Для условий рудника горно-металлургической компании северо-восточного региона были решены следующие задачи:

1. Построены системы структурных уравнений основных показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия (табл. 1);

2. Построены графы связей показателей эффективности и показателей производственно – хозяйственной деятельности предприятия (рис. 1);

3. Установлены ограничения и определены зависимости показателей эффективности и основных показателей производственно-хозяйственной деятельности (табл. 1);

4. Определены необходимые условия идентифицируемости параметров полученных структурных уравнений;

5. Определены диапазоны варьирования и произведена оценка возможности управления производственными па-

раметрами основных технологических циклов предприятия;

6. Определен уровень влияния основных технико-экономических показателей на объемы производства и себестоимость горного передела по элементам (рис. 2);

7. Обоснованы сценарии развития внутренней среды деятельности предприятия;

8. Определен уровень возможного снижения элементов производственных затрат для совокупности сформированных сценариев (табл. 2).

Таким образом, проведенный анализ деятельности горнодобывающего предприятия по основным технологическим циклам позволил выявить ряд негативных тенденций изменения большинства затратных и объемных показателей. Высокая численность и сравнительно низкая производительность трудящихся на руднике, превышение необходимого уровня многих элементов и статей затрат, а также неритмичность большинства объемно-качественных показателей объясняется многими объективными и субъективными причинами. Среди этих причин в первую очередь необходимо отметить: недостаточный уровень организации труда и системы его стимулирования; эксплуатация оборудования со сроками службы, значительно превышающими нормативные; снижение надежности и производительности основного производственного оборудования; увеличение численности обслуживающего его персонала. Однако, высокое качество добываемых руд позволяет пока еще частично компенсировать ряд сложившихся неблагоприятных условий отработки месторождения.

Таблица 1

Система структурных уравнений основных показателей деятельности горнодобывающего предприятия

$R_2 = f_1(G_7; O_{13}; R_5; R_6; R_8; R_9; R_{12})$ $G_6 = f_2(R_7; R_9; R_{12}; M_1; V_3)$ $R_5 = f_3(M_1; M_2; M_3; O_{10}; G_6)$ $R_8 = f_4(G_6; T_4; T_5; O_{10}; O_{11})$ $R_6 = f_5(G_6; O_{10}; M_3)$ $R_9 = f_{10}(G_7; O_{12}; R_2)$ $R_4 = f_6(G_{11}; U_1)$ $R_{12} = f_7(T_4; M_3)$ $O_6 = f_8(O_7; O_8)$ $R_7 = f_9(G_6; O_{10})$ $O_1 = f_{11}(O_{13})$ $M_2 = f_{12}(O_{11})$ $M_3 = f_{13}(O_{11})$ $M_1 = f_{14}(O_{11})$ $G_7 = f_{15}(O_{11})$ $G_8 = f_{16}(V_1)$ $G_9 = f_{17}(G_7)$ $T_3 = f_{18}(G_6)$ $T_4 = f_{19}(O_{10})$	$R_2 = 19,6 - 0,08857 * G_7 + 0,31495 * O_{13} - 0,00112 * R_5 + 0,00321 * R_6 + 0,00409 * R_8 + 0,00143 * R_9 + 0,00108 * R_{12}; R^2 = 0,524;$ $G_6 = 33,52 + 0,08664 * R_7 + 0,00117 * R_9 + 0,00494 * R_{12} + 3,78350 * M_1 - 0,09085 * V_3; R^2 = 0,597;$ $R_5 = - 6843,4 + 782,16 * M_1 + 889,61 * M_2 + 132,30 * M_3 - 82,61 * O_{10} + 40,32 * G_6; R^2 = 0,5391;$ $R_8 = 600,6 + 7,7995 * G_6 - 0,4292 * T_4 + 0,1327 * T_5 + 60,1241 * O_{10} + 0,0622 * O_{11}; R^2 = 0,5247;$ $R_6 = 2862,5 + 83,185 * G_6 + 333,441 * O_{10} + 118,306 * M_3; R^2 = 0,6773;$ $R_9 = - 4224,94 + 8,99 * G_7 + 5,64 * O_{12} + 117,96 * R_2; R^2 = 0,5211;$ $R_4 = 3,07 + 0,344344 * G_{11} + 0,275517 * U_1; R^2 = 0,6225;$ $R_{12} = 36,2 + 8,22010 * T_4 + 43,66688 * M_3; R^2 = 0,6231;$ $O_6 = 284,9 + 1,656 * O_7 + 1114,608 * O_8; R^2 = 0,6246;$ $R_7 = 325,8 + 2,2509 * G_6 + 11,1629 * O_{10}; R^2 = 0,6854;$ $O_1 = 14,03 + 0,02288 * O_{13}; R^2 = 0,7569;$ $M_2 = 11,5 + 0,00034 * O_{11}; R^2 = 0,7487;$ $M_3 = 33,9 + 0,00078 * O_{11}; R^2 = 0,7384;$ $M_1 = 8,5 + 0,000120 * O_{11}; R^2 = 0,7299;$ $G_7 = 946,6 + 0,0147 * O_{11}; R^2 = 0,7316;$ $G_8 = 132,9 + 1189,190 * V_1; R^2 = 0,7741;$ $G_9 = 7,8 + 0,008629 * G_7; R^2 = 0,7438;$ $T_3 = 242,2 + 1,8216 * G_6; R^2 = 0,7615;$ $T_4 = 142,9 + 3,6420 * O_{10}; R^2 = 0,7919;$
---	--

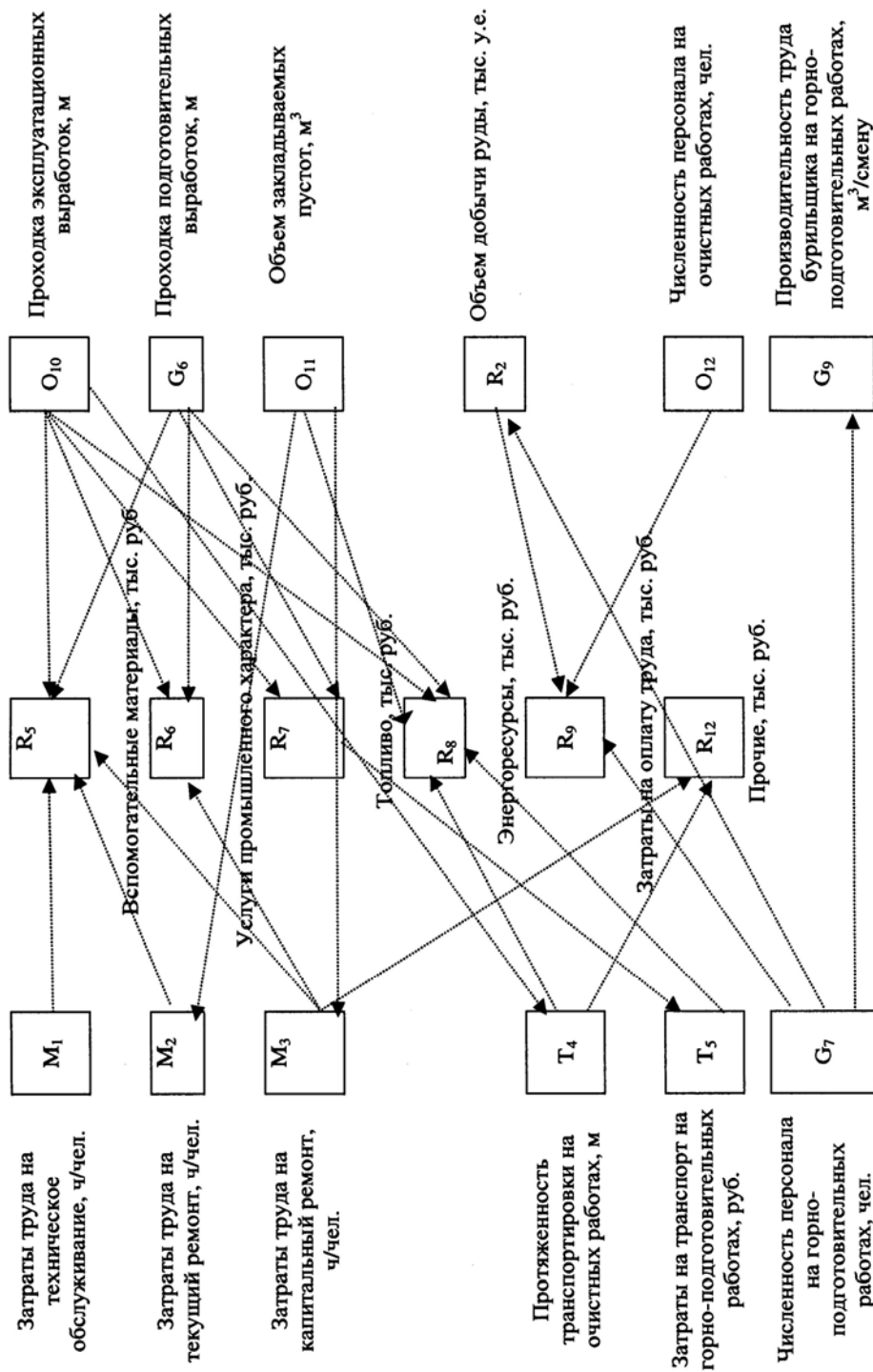
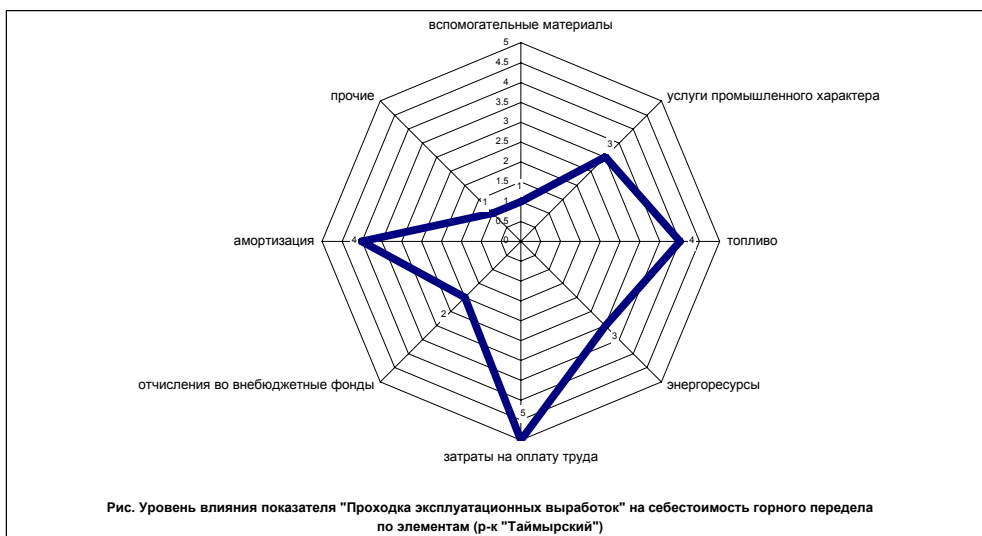


Рис. 1. Фрагмент графа связей показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия



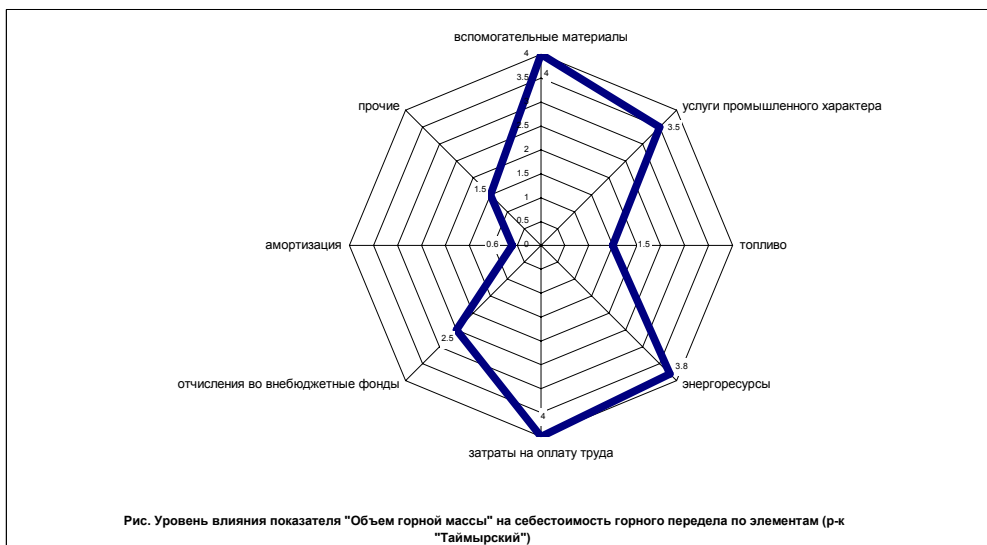
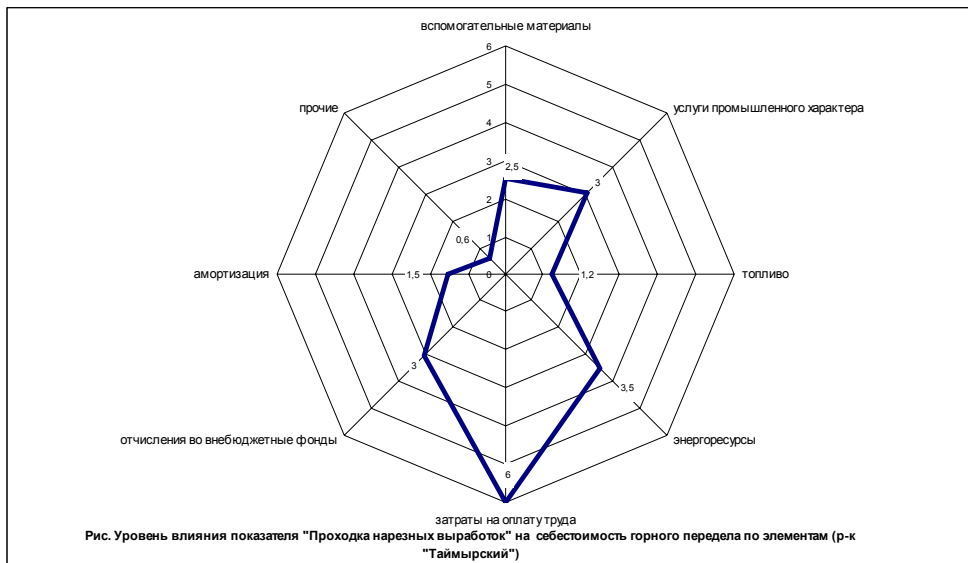


Рис. 2. Уровень влияния отдельных показателей производственно-хозяйственной деятельности на себестоимость горного передела по элементам, %



Таблица 2  
 Уровень возможного снижения элементов производственных затрат для различных сценариев развития внутренней среды деятельности предприятия

Тыс. руб.

Номер интервала	Объем добываемой руды	Статистические характеристики	Вспомогательные материалы		Услуги промышленного характера		Топливо	Энергоресурсы		Фонд заработной платы		Отчисления во внебюджетные фонды		Амортизация	Прочие
			постоянные	переменные	постоянные	переменные		постоянные	переменные	постоянные	переменные	постоянные	переменные		
1	343,4-374,5	Максимум	45139	55121	59143	16488	1996	7696	12168	54513	23362	11082	4749	18823	10582
		Среднее значение	31315	51615	56963	15768	1921	3536	11469	52625	22553	10050	4307	18267	9655
		% снижения издержек	3,1	6,4	4,3	4,5	4,9	5,3	6,2	3,3	3,7	5,1	4,5	3,4	9,4
2	375,7-399,1	Максимум	28701	57740	78766	17691	2374	8369	12823	59846	25648	15006	6431	20925	12581
		Среднее значение	17395	52143	67231	16454	1519	6034	12013	55425	23754	12557	5381	19077	9332
		% снижения издержек	5,3	4,2	5,1	7,4	3,4	5,5	6,1	7,3	5,3	4,4	6,5	9,6	6,3
3	403,4-433,8	Максимум	31883	60447	79874	18995	2457	10002	12923	57413	24606	17519	7508	21103	12811
		Среднее значение	28408	57503	75235	18259	2150	6218	12506	56616	24264	14609	6261	20389	11693
		% снижения издержек	10,5	5,3	6,5	4,3	5,2	2,2	3,3	1,4	1,9	3,3	4,4	3,3	9,1
Итого	343,4-433,8	Максимум	45139	60447	79874	18995	2457	10002	12923	59846	25648	17519	7508	21103	12811
		Среднее значение	25706	53754	66476	16827	1904	5263	11996	54889	23524	12406	5317	19244	10227
		% снижения издержек	18,9	15,9	15,9	16,2	13,5	13	15,6	12	10,9	12,8	15,4	16,3	24,8

В этой ситуации структурное моделирование производственных параметров основных технологических циклов позволит:

- выявить негативные тенденции затратных и объемных показателей деятельности горнодобывающего предприятия;

- установить основные группы факторов, оказывающих влияние на эффективность деятельности предприятия;

- обосновать сценарии развития внутренней среды деятельности предприятия;

- определить последовательность мероприятий, направленных на снижение элементов затрат в структуре себестоимости по совокупности сформированных сценариев;

- обосновать тактические и стратегические управленческие решения по регулированию прибыли и издержек предприятия; **ГИАБ**

### **Коротко об авторах**

*Федулец Нина Ивановна* – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой,  
*Гончаренко Сергей Николаевич* – доцент, кандидат экономических наук,  
кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 14 симпозиума «Неделя горняка-2007».  
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.А. Трофимов*.



**ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ  
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**РУКОПИСИ,**

1. *Зотов В.В.* Динамика подъемных установок с резинотросовыми лентами в качестве тяговых органов (595/09-07 — 06.06.07) 7 с.
2. *Зотов В.В.* Математическая модель подъемных установок ленточным тяговым органом (596/09-07 — 06.06.07) 8 с.