© С.Н. Гончаренко, 2007

УДК 658.5

С.Н. Гончаренко

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Семинар № 14

Одной из первоочередных задач укрепления и развития минерально-сырьевой базы руд цветных металлов является осуществление мероприятий по поддержанию и наиболее эффективному использованию действующих горно-обогатительных мощностей, использование новейших технологий, высокопроизводительного оборудования и горной техники в процессе добычи и переработки руды. Поэтому, вопросы повышения эффективности использования технологического оборудования на горнодобывающем предприятии на сегодняшний день являются весьма актуальными.

Статистический анализ основных форм отчетных документов использования технологического оборудования ряда рудников северо-восточного региона, добывающих медно-никеле-вые руды показал, что при достаточно высокой степени оснащенности всех видов работ современным высокопроизводительным оборудованием на предприятиях наблюдаются крайне не стабильные, а в ряде случаев и негативные тенденции его использования.

Кроме того, на сегодняшний день на предприятии имеет место стойкая тенденция роста затрат (как материальных так и временных), связанных с использованием оборудования по причине возникновения аварий, отсутствия запасных частей, организационным причинам, в связи с увеличением случаев производственного травматизма. Поэтому, первоочередной задачей горнодобывающего пред-приятия должно являться снижение уровня этих показателей и выявление факторов оказывающих на них непосредственное влияние. Выявление таких факторов позволит произвести непосредственную оценку влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Такую оценку предлагается осуществить с помощью структурных эконометрических уравнений, содержащих определенный набор эндогенных (зависимых) переменных – основных технико-экономических показателей деятельности предприятия и экзогенных (независимых) переменных или совокупности показателей, определяющих эффективность использования технологического оборудования.

На основе классификации исходного множества исследуемых переменных на эндогенные и экзогенные была обоснована теоретическая концепция информационной модели деятельности горнодобывающего предприятия. При этом

искомые переменные выступали в одних случаях как эндогенные, а в других входили в состав экзогенных переменных. В качестве экзогенных переменных также рассматривались значения эндогенных переменных за предшествующий период времени (лаговые переменные).

Структурная форма модели позволила определить влияние изменений любой экзогенной переменной на значения эндогенной. Среди методов оценивания коэффициентов таких структурных моделей принимались следующие: косвенный метод наименьших квадратов; двух и трехшаговый метод наименьших квадратов; методы максимального правдоподобия с полной и ограниченной информацией.

Построенные системы структурных уравнений позволили глубже изучить причины связи, лежащие в основе вариации показателей использования технологического оборудования. При этом произведено выделение и оценка косвенных (опосредованных) и непосредственных (прямых) влияний. Установление направленности связей и их причинного характера осуществлялось с использованием результатов факторного анализа изучаемой совокупности основных технико-экономи-ческих показателей и показателей эффективности использования технологического оборудования, в ходе которого формулировались гипотезы о структуре влияний и корреляций.

Построенные структурные модели позволили не только оценить непосредственное и полное влияние основных технико-экономических показателей деятельности предприятия на эффективность использования технологического оборудования, но и прогнозировать значения этих показателей, определяя при этом значения эндогенных переменных. Значимость результатов анализа и прогноза определялась в первую очередь вариантами построения логического каркаса структурной модели - максимально связанного графа связей изоморфной математической модели в виде искомой системы уравнений.

Наиболее приемлемой для анализа эффективности использования технологического оборудования на горнодобывающем предприятии является система взаимозависимых (одновременно-совместных) уравнений. В такой системе (структурной форме модели) одни и те же переменные (y) одновременно рассматриваются как зависимые в одних уравнениях и как независимые в других.

$$\begin{cases} y_1 = b_{12}y_2 + b_{13}y_3 + \ldots + b_{1n}y_n + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1m}x_m + \varepsilon_1, \\ y_2 = b_{21}y_1 + b_{23}y_3 + \ldots + b_{2n}y_n + a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2m}x_m + \varepsilon_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ y_n = b_{n1}y_1 + b_{n2}y_2 + \ldots + b_{nn-1}y_{n-1} + a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nm}x_m + \varepsilon_n \end{cases}$$

Именно поэтому построение системы таких структурных уравнений позволило описать причинно-следст-венные связи основных технико-экономических показателей деятельности предприятия и показателей эффективности использования технологического оборудования, как причинные модели, объясняющие механизм формирования вариации показателей эффективности.

Решение такого круга задач предопределило необходимость проведения идентификации характера связей переменных (определение достаточности эмпирических данных для оценки коэффициентов модели). Для этого был использован метод, удовлетворяющий искомому набору требований и ограничений – метод путевого анализа (*p* - анализ), простейшим случаем которого является модель звена линейной причинной

цепи. Уравнение этой модели в форме линейной регрессии для стандартизованных переменных имеет следующий вид: $y = p_{ij}x + e_y$. Коэффициент p_{ij} является стандартизованным коэффициентом p-регрессии (числовая величина, которая измеряет долю стандартного отклонения i-й эндогенной переменной (следствия) с соответствующим знаком, обусловленную влиянием j-й экзогенной переменной (причины)).

Таким образом, систему структурных уравнений основных технико-экономических показателей и показателей эффективности использования технологического оборудования можно представить в виде графа связей. В этом случае коэффициент корреляции случайных переменных x и y будет выступать как первый смешанный момент нормированных случайных величин и определяется соотношением:

$$r_{yx} = cov\,(x, y) = p_{yx}\, cov\,(x, x) + \\ +p_{yx}\, cov\,(xx_u) = p_{yx.}$$

Обобщение рассмотренной модели на случай n-звенной линейной цепи, а также случай k независимых x_k одного и того же следствия y могут быть проведены индуктивно.

Для достаточно широко распространенной структурной модели системы с коррелированными входами (случай множества взаимодополняющих причин) основное уравнение системы записывается следующим образом: $x_i = \Sigma\, p_{yi}\, x_i + p_{yv}\, x_v$, а корреляция следствия с j-й причиной определяется из соотношения:

$$R_{yxi} = \quad p_{yj} + \sum_j p_{yj}\, r_{ij},$$

Положительное значение p-коэффициента указывает на то, что фактор x_j влияет на x_i таким образом, что при изменении x_j в одном направлении признак x_i изменяется также. Отрицательное значение показывает, что x_i и x_j изменяются противоположно. Знак коэффициента влияния получается в результате решения системы уравнений, связывающей r_{ij} и p_{ij}.

Еще одной из основных проблем идентифицируемости системы полученных структурных уравнений при анализе эффективности использования технологического оборудования является проблема наличия достаточного числа ограничений, накладываемых технико-экономическими показателями на построенную структурную модель. Применительно к p- анализу – эту проблему возможно решить путем определения и корректировки соответствия между количеством возможных соотношений между r_{ij} и p_{ij} и числом p_{ij}. Необходимым условием идентифицируемости полученного уравнения является отсутствие среди линейных комбинаций искомых уравнений, таких, которые удовлетворяли бы всем ограничениям модели, накладываемым на исследуемое уравнение. Это эквивалентно так называемому *условию порядка*: для того чтобы уравнение в системе из m линейных структурных уравнений было идентифицируемо, необходимо, чтобы в нем отсутствовало по меньшей мере $m - 1$ переменных из $m + k$ переменных, встречающихся в модели. Обозначив через m число эндогенных переменных в модели, k – число предопределенных переменных, h – число эндогенных переменных в рассматриваемом уравнении, g – число предопределенных переменных в рассматриваемом уравнении получаем условие

порядка, которое может быть записано в форме $m+k - h - g > m - 1$ или $k - g > h - 1$. Построенная система структурных уравнений будет идентифицируема, если ее уравнения удовлетворяют вышеуказанным условиям.

Таблица 1

Система структурных уравнений показателей использования технологического оборудования на руднике (погрузочно-доставочные машины и самоходные буровые установки на очистных и проходческих видах работ)

Погрузочно-доставочные машины		Самоходные буровые установки	
Очистные работы	**Проходческие работы**	**Очистные работы**	**Проходческие работы**
$x_{18}=f_1(x_{47(1)},x_{54(1)},x_{56(1)},x_{62(1)},x_{66(1)})$ $x_{66(1)}=f_2(x_{54(1)},x_{59(1)},x_{62(1)})$ $x_{40}=f_3(x_{54(1)},x_{59(1)})$ $x_{37}=f_4(x_{46(1)},x_{47(1)})$ $x_{47(1)}=f_5(x_{51(1)})$ $x_{54(1)}=f_6(x_{47(1)})$ $x_{62(1)}=f_7(x_{50(1)})$ $x_{35}=f_8(x_{47(1)})$ $x_{39}=f_9(x_{46(1)})$	$x_{18}=f_1(x_{70(1)},x_{77(1)},x_{79(1)},x_{85(1)})$ $x_{40}=f_2(x_{77(1)},x_{82(1)},x_{87(1)},x_{90(1)})$ $x_{37}=f_3(x_{69(1)},x_{70(1)})$ $x_{90(1)}=f_4(x_{70(1)},x_{77(1)})$ $x_{35}=f_5(x_{70(1)})$ $x_{39}=f_6(x_{69(1)})$ $x_{70(1)}=f_7(x_{74(1)})$ $x_{77(1)}=f_8(x_{70(1)})$ $x_{85(1)}=f_9(x_{73(1)})$ $x_{87(1)}=f_{10}(x_{70(1)})$ $x_{88(1)}=f_{11}(x_{70(1)})$	$x_{18}=f_1(x_{47(2)},x_{54(2)},x_{56(2)},x_{62(2)},x_{66(2)})$ $x_{66(2)}=f_2(x_{54(2)},x_{59(2)},x_{62(2)})$ $x_{40}=f_3(x_{54(2)},x_{59(2)})$ $x_{37}=f_4(x_{46(2)},x_{47(2)})$ $x_{47(2)}=f_5(x_{51(2)})$ $x_{54(2)}=f_6(x_{47(2)})$ $x_{62(2)}=f_7(x_{50(2)})$ $x_{35}=f_8(x_{47(2)},x_{57(2)})$ $x_{36}=f_9(x_{58(2)})$ $x_{39}=f_{10}(x_{46(2)})$	$x_{18}=f_1(x_{70(2)},x_{77(2)},x_{79(2)},x_{85(2)})$ $x_{40}=f_2(x_{77(2)},x_{82(2)},x_{87(2)},x_{90(2)})$ $x_{35}=f_3(x_{70(2)},x_{90(2)})$ $x_{37}=f_4(x_{69(2)},x_{70(2)})$ $x_{90(2)}=f_5(x_{70(2)},x_{77(2)})$ $x_{36}=f_6(x_{61(2)})$ $x_{39}=f_7(x_{69(2)})$ $x_{70(2)}=f_8(x_{74(2)})$ $x_{77(2)}=f_9(x_{70(2)})$ $x_{85(2)}=f_{10}(x_{73(2)})$ $x_{87(2)}=f_{11}(x_{70(2)})$ $x_{88(2)}=f_{12}(x_{70(2)})$
$x_{18}=515,6130+0,0129(x_{47(1)})-0,0050(x_{54(1)})+0,0108(x_{56(1)})-0,0050(x_{62(1)})+197,996(x_{66(1)})$ $x_{66(1)}=0,014-0,000005(x_{54(1)})+0,00008(x_{59(1)})-0,00005(x_{62/1)})$ $x_{40}=16364,40+2,10(x_{54(1)})+2,05(x_{59(1)})$ $x_{37}=85198,23+4600,9(x_{46(1)})+3,18(x_{47(1)})$ $x_{47(1)}=6102,009+1,187(x_{51(1)})$ $x_{54(1)}=-4218,17+0,68(x_{47(1)})$ $x_{62(1)}=15146,67-1,24(x_{50(1)})$ $x_{35}=-1468,34+0,86(x_{47(1)})$ $x_{39}=6532,237+6046,381(x_{46(1)})$	$x_{18}=601,85+0,008(x_{70(1)})-0,013(x_{77(1)})-0,0051(x_{79(1)})+0,0130(x_{85(1)})$ $x_{40}=-23547,2+9,7(x_{77(1)})-1,8(x_{82(1)})-20855,6(x_{87(1)})+52458,2(x_{90(1)})$ $x_{37}=189147,7-9774,7(x_{69(1)})+7,4(x_{70(1)})$ $x_{90(1)}=0,898541+0,000008(x_{70(1)})-0,000068(x_{77(1)})$ $x_{35}=1187,655+0,745(x_{70(1)})$ $x_{39}=15484,86+6171,41(x_{69(1)})$ $x_{70(1)}=1363,443+2500(x_{74(1)})$ $x_{77(1)}=1046,104+0,038(x_{70(1)})$ $x_{85(1)}=9797,217-0,121(x_{73(1)})$ $x_{87(1)}=0,0984+0,000061(x_{70(1)})$ $x_{88(1)}=0,6269+0,000021(x_{70(1)})$	$x_{18}=515,6130+0,0129(x_{47(1)})-0,0050(x_{54(1)})+0,0108(x_{56(1)})-0,0050(x_{62(1)})+197,996(x_{66(1)})$ $x_{66(1)}=0,014-0,000005(x_{54(1)})+0,00008(x_{59(1)})-0,00005(x_{62(1)})$ $x_{40}=16364,40+2,10(x_{54(1)})+2,05(x_{59(1)})$ $x_{37}=85198,23+4600,9(x_{46(1)})+3,18(x_{47(1)})$ $x_{47(1)}=6102,009+1,187(x_{51(1)})$ $x_{54(1)}=-4218,17+0,68(x_{47(1)})$ $x_{62(1)}=15146,67-1,24(x_{50(1)})$ $x_{35}=-1468,34+0,86(x_{47(1)})$ $x_{39}=6532,237+6046,381(x_{46(1)})$	$x_{18}=601,85+0,008(x_{70(1)})-0,013(x_{77(1)})-0,0051(x_{79(1)})+0,0130(x_{85(1)})$ $x_{40}=-23547,2+9,7(x_{77(1)})-1,8(x_{82(1)})-20855,6(x_{87(1)})+52458,2(x_{90(1)})$ $x_{37}=189147,7-9774,7(x_{69(1)})+7,4(x_{70(1)})$ $x_{90(1)}=0,898541+0,000008(x_{70(1)})-0,000068(x_{77(1)})$ $x_{35}=1187,655+0,745(x_{70(1)})$ $x_{39}=15484,86+6171,41(x_{69(1)})$ $x_{70(1)}=1363,443+2500(x_{74(1)})$ $x_{77(1)}=1046,104+0,038(x_{70(1)})$ $x_{85(1)}=9797,217-0,121(x_{73(1)})$ $x_{87(1)}=0,0984+0,000061(x_{70(1)})$ $x_{88(1)}=0,6269+0,000021(x_{70(1)})$

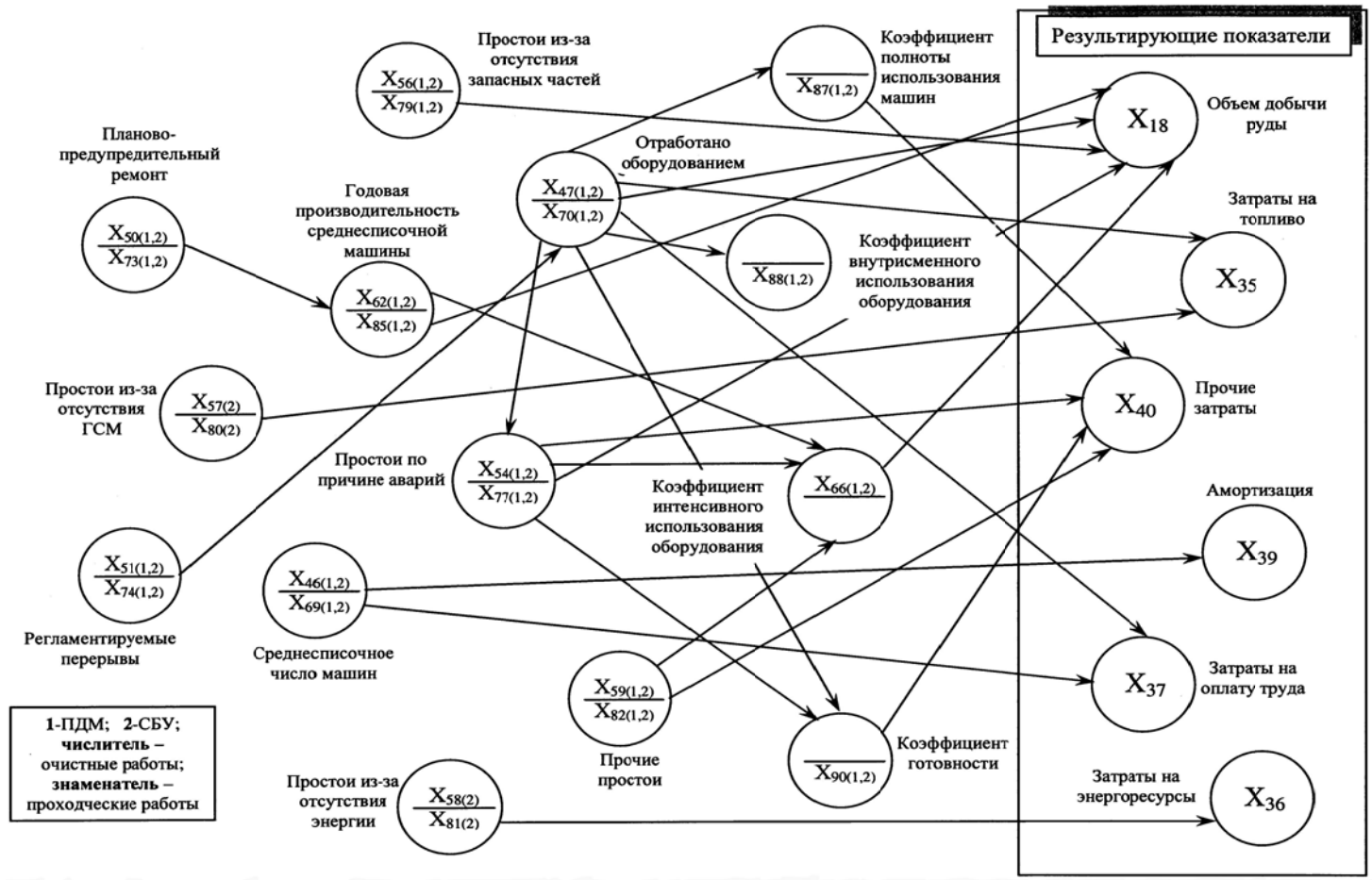
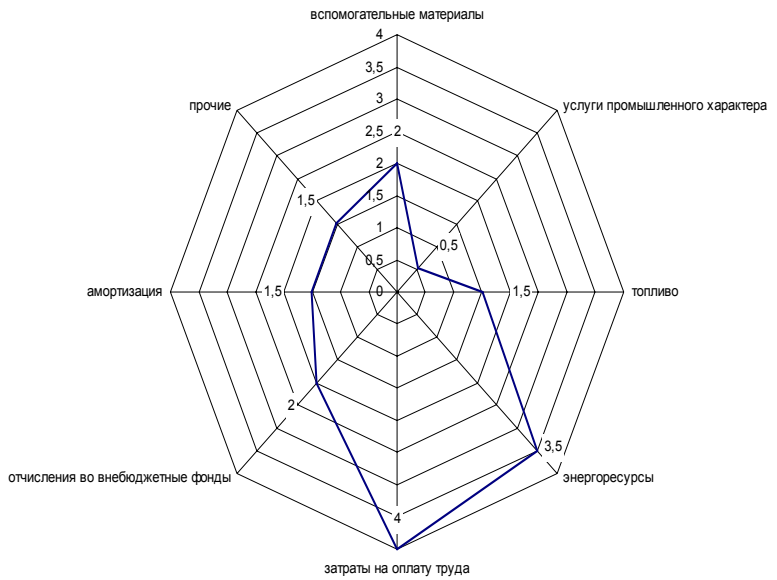
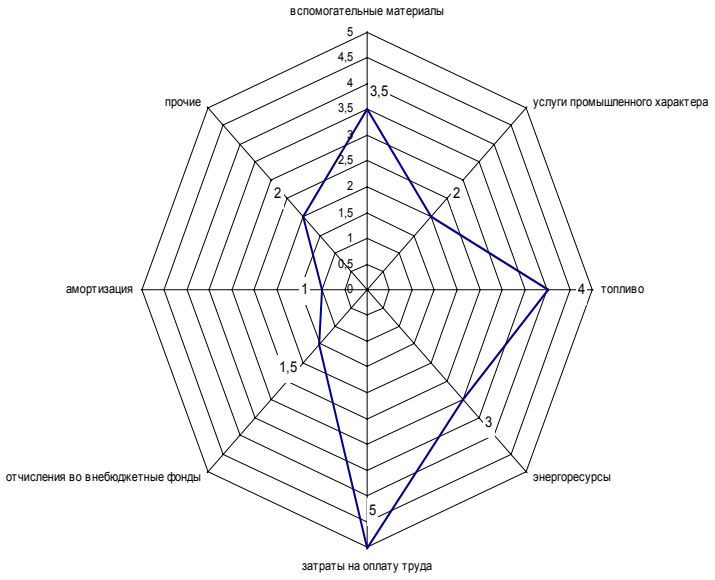


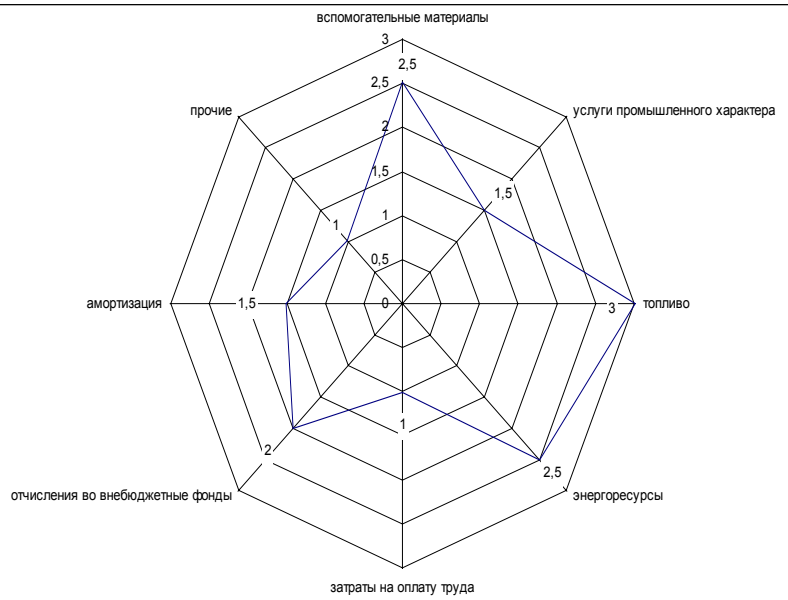
Рис. 1. Граф связей показателей использования технологического оборудования на руднике (погрузочно-доставочные машины и самоходные буровые установки на очистных и проходческих работах)



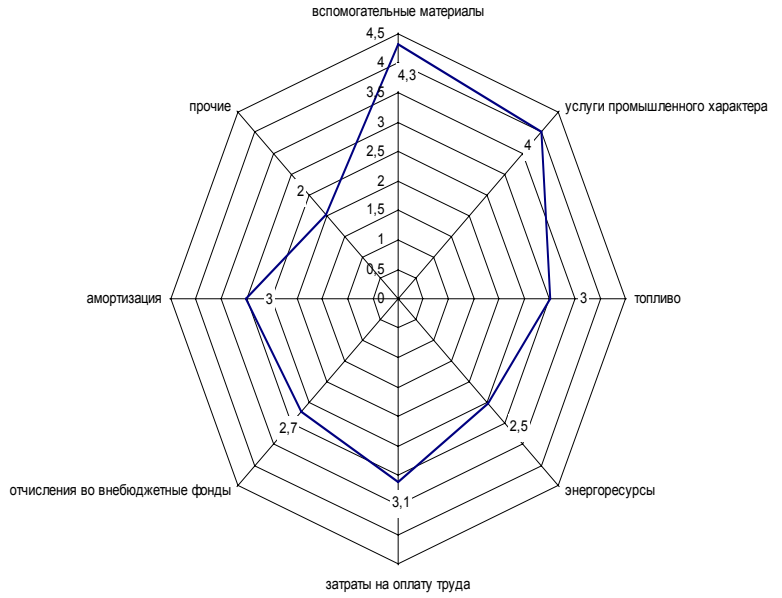
А) Простои по организационным причинам на очистных работках



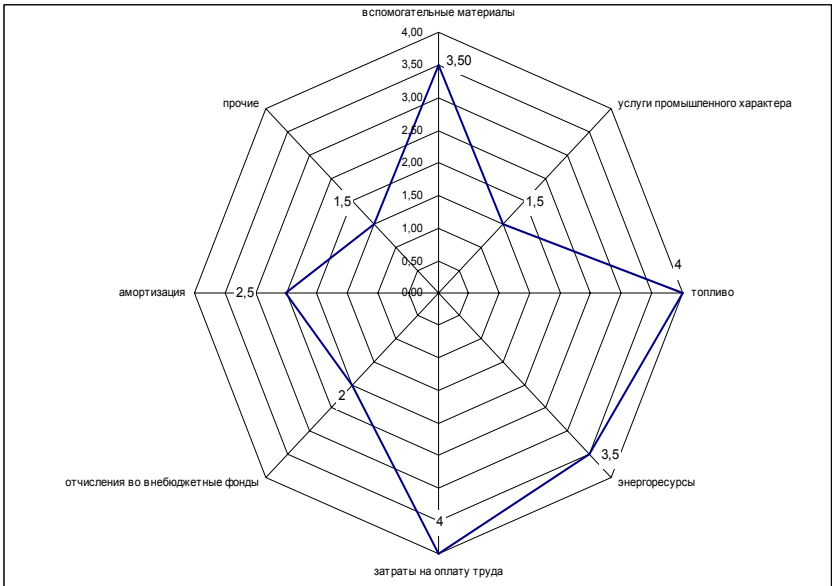
Б) Регламентируемые простои на очистных работках



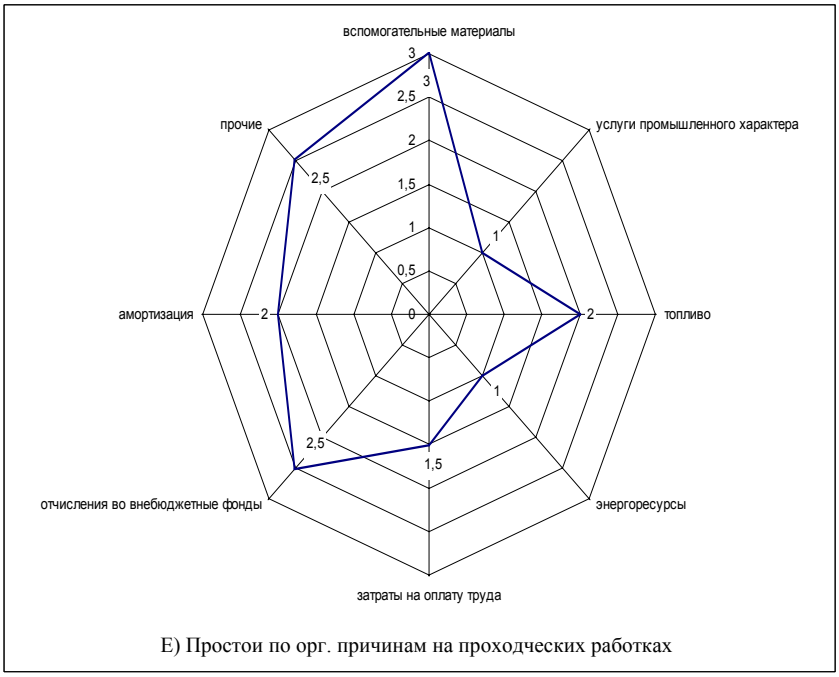
В) Отработано оборудованием на проходческих работках



Г) Отработано оборудованием на очистных работках



Д) Регламентируемые простои на проходческих работках



Е) Простои по орг. причинам на проходческих работках

Рис. 2. Оценка уровня влияния эффективности использования технологического оборудования (ПДМ и СБУ на проходческих (В; Д) и очистных (А; Б; Г) работах) на результаты производственно-хозяйственной деятельности рудника

Таким образом, оценку влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно – хозяйственной деятельности горнодобывающего пред-приятия 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 основные задачи:

1. Построены системы структурных уравнений показателей деятельности технологического оборудования на руднике (погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и самоходные буровые установки (СБУ) на очистных и проходческих работах) (табл. 1);

2. Построены графы связей показателей эффективности использования технологического оборудования (ПДМ и СБУ на проходческих и очистных работах) и показателей производственно – хозяйственной деятельности рудника (рис. 1);

3. Установлены ограничения и определены зависимости показателей эффективности использования технологического оборудования (ПДМ и СБУ на проходческих и очистных работах) и основных показателей производственно-хозяйственной деятельности (табл. 1);

4. Определены необходимые условия идентифицируемости структурных параметров полученных эконометрических уравнений;

5. Произведена оценка уровня влияния эффективности использования технологического оборудования (ПДМ и СБУ на проходческих и очистных работах) на результаты производствен-но-хозяйственной деятельности (рис. 2)

Таким образом, результаты проведенного исследования позволили осуществить оценку влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно-хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия. При этом для увеличения объемно-качест-венных показателей деятельности пред-приятия и снижения материальных и временных затрат, связанных с использованием технологического оборудования необходима первоочередная реализация комплекса проектов, в рамках которых необходимо осуществить следующие мероприятия:

- увеличить производительность среднесписочной машины и время, отработанное оборудованием на очистных и проходческих работах для погрузочно-доставочных машин и самоходных буровых установок;
- уменьшить величину простоев, связанных с отсутствием запасных частей, для самоходных буровых установок на проходческих и очистных работах, что повлияет на увеличение коэффициентов интенсивного использования и коэффициентов готовности этого оборудования;
- уменьшить величину простоев по причине аварий для погрузочно-доставочных машин на проходческих и очистных работах, что повлечет за собой увеличение коэффициентов готов-ности оборудования. ГИАБ

Коротко об авторах

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. *Н.И. Федунец.*