

С.Н. ПОГОРЕЛОВ, канд.экон.наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Н.И. ПОГОРЕЛОВ, канд.экон.наук, проф., НТУ «ХПИ»

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе рассматриваются важнейшие современные научные концепции инновационной деятельности в обслуживаемые производства промышленных предприятий. Рассмотрена структура, состояние, основные тенденции и особенности форм и методов активизации инновационной деятельности, механизм и специфика создания и коммерциализации инноваций, экономические вопросы технического обслуживания и ремонта оборудования в условиях роста НТП.

Ключевые слова: модель, специфика, концепция, инновация, оценка, ремонт, производство, обслуживание

Введение: Поддержание основных фондов черной металлургии в постоянной эксплуатационной готовности неразрывно связано с повышением эффективности использования СТОиРО. Это особенно актуально в условиях перехода к рыночным отношениям и в связи с изменяющейся стратегией развития ремонтных служб. Управлять этим процессом следует с учетом потребностей в ресурсах и при всестороннем анализе их использования. Если первая часть проблемы решается применением ряда методик, то вторая требует разработки специальных методов и подходов, позволяющих выявлять резервы эффективности как в целом системы технического обслуживания и ремонта оборудования в целом, так и составляющих ее подсистем. Поскольку эффективность ремонтного обслуживания зависит от совокупности организационно-технических факторов, целесообразно поставленную задачу решать с применением регрессионного анализа и метода главных компонент путем построения регрессионных экономико-математических моделей.

Материалы исследования: Регрессионная модель, как и всякая другая математическая модель, отражает основные свойства изучаемого экономического явления или объекта исследования и позволяет судить о его поведении в определенных конкретных условиях. При исследовании регрессионных моделей результат действия экономической системы или объекта в виде одного или нескольких выходных показателей представляется как функция влияющих на него факторов (существенных и несущественных). В зависимости от числа факторов различают парную линейную регрессию (и, соответственно, модель) и множественную линейную регрессию. По способу реализации модели могут быть линейные и нелинейные.

© С.Н. Погорелов, Н.И. Погорелов, 2014

При разработке регрессионных моделей на факторы налагаются определенные ограничения. Прежде всего, необходимо чтобы в условиях конкретной выборки каждый из введенных в модель факторов обладал достаточной вариабельностью (в смысле влияния на результат). Это можно выяснить, исключая данный фактор из модели и сравнивая полученные до и после исключения коэффициенты детерминации и F- отношения (не забывая при этом о возможном взаимодействии исключенного фактора с другими). Существенность влияния фактора в конкретных условиях определяется также его значимостью. Следующим осложняющим обстоятельством при разработке регрессионных множественных моделей является мультиколлинеарность факторов [48, 71, 80], т.е. такое расположение их выборочных значений, при котором последние близко прилегают к некоторой гиперплоскости в пространстве факторов. Применительно к нормальным уравнениям это означает, что их определитель близок к нулю и поэтому уравнения нельзя решить. Для преодоления такого недостатка используются следующие приемы: исключение одного из двух сильно связанных факторов (определяются по корреляционной таблице); переход от первоначальных факторов к их главным компонентам, число которых может быть меньше, затем возвращение к первоначальным факторам; гребневая регрессия с получением ридж-оценок.

Для оценки работы ремонтного производства были построены многофакторные регрессионные модели. На основе логического и графического анализа в качестве зависимых переменных (основных показателей) были отобраны общепринятые в черной металлургии затраты на ремонты и техническое обслуживание оборудования (z , тыс. грн.) и ремонтоспособность основных фондов (z/ϕ , коп./грн.)

Для количественной оценки организационно-технического уровня ремонтного производства (независимые переменные) взяты факторы: x_1 - износ основных фондов, %; x_2 - отношение затрат на текущие ремонты оборудования к капитальным, %; x_3 - отношение затрат на капитальные ремонты оборудования, выполненные хозспособом к суммарным затратам на капитальные ремонты, %; x_4 - отношение численности персонала, занятого подготовкой и проведением ремонтов основных фондов централизованным способом к численности персонала, выполняющего ремонт и обслуживание децентрализованным способом, %; x_5 - рентабельность, %.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Использование пяти факторов с глубиной выборки, равной десяти, вполне приемлемо для получения достоверных результатов.

При исследовании организационно-технического уровня ремонтного производства интерес представляет как влияние каждого из факторов в отдельности, так и совокупности всех факторов на основные технико-экономические показатели ремонтного производства.

Таблица 1 - Исходные данные

№ п/п	x1	x2	x3	x4	x5	z	z/φ
1	35,4	165,0	15,0	10,46	7,29	72,29	10,11
2	36,0	152,2	15,2	11,28	7,40	72,80	10,21
3	39,4	154,2	14,6	11,62	7,58	77,40	10,398
4	40,7	167,4	15,2	10,18	7,72	78,0	10,37
5	41,0	176,6	17,0	10,10	7,87	75,68	10,10
6	31,3	166,7	11,1	10,34	9,21	40,0	8,12
7	32,9	159,0	10,3	10,63	9,36	42,0	8,12
8	35,8	175,7	16,2	10,73	9,54	43,20	8,15
9	37,3	172,5	17,5	10,18	9,65	46,40	8,303
10	38,2	170,7	14,6	10,92	9,76	46,80	8,22

Исследование влияния каждого из факторов может быть осуществлено с использованием линейной однофакторной регрессионной модели. Результаты расчетов по найденным зависимостям: величин стандартизованных среднеквадратичных отклонений (СКВО) для каждой оценки; t – статистики (статистики Стьюдента), используемые для проверки нулевой гипотезы (НО) о равенстве параметров нулю; уровень значимости для нулевой гипотезы (если при доверительной вероятности 95% это величина меньше 0,05, то гипотеза НО отвергается и параметр считается значимым), приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты регрессионного анализа

Фактор	Параметр	Значение параметра	СКВО	Статистика Стьюдента	Уровень значимости
x1	a	3,59	1,36	2,64	0,03
	b	-73,04	50,29	-1,45	0,184
x2	a	-0,62	0,66	-0,95	0,377
	b	161,88	109,7	1,475	0,178
x3	a	2,94	2,34	1,26	0,243
	b	16,18	34,64	0,467	0,653
x4	a	5,98	11,53	0,52	0,62
	b	-4,31	122,95	-0,035	0,973
x5	a	-15,06	2,003	-7,52	0,00007
	b	188,00	17,21	10,92	0,00000

Анализ результатов, приведенных в табл. 2 показал, что полученные оценки параметров модели является статистически значимыми, поскольку полученные уровни значимости, определенные на основе значений статистики Стьюдента (для соответствующего фактора), соответственно равны 0,03 и 0,0007. Для модели уровни значимости больше 0,05 (при доверительном интервале 95%). Результаты дисперсионного анализа сводим в таблицу 3

Таблица 3 - Результаты дисперсионного анализа

Фактор	Объект	Сумма квадратов	Число степеней свободы	F-статистика	Коэффициент корреляции	Стандартная ошибка	Коэффициент детерминации, %	Уровень значимости
x1	Модель	1176,38	1	6,98	0,68	12,98	46,59	0,03
	Остаток	1348,85	8					
	Сумма	2525,23	9					
x2	Модель	2112,4	1	56,6	-0,94	6,25	87,6	0,00007
	Остаток	312,83	8					
	Сумма	2525,23	9					

Анализ результатов дисперсионного анализа, приведенных в таблице 3, показал следующее. Коэффициент корреляции (для каждой из модели) достаточно высок (соответственно равен 0,68 и 0,94), что указывает на существенную связь соответствующего фактора с зависимой переменной «z», причем знак «-» свидетельствует об уменьшении величины z5 при возрастании x5, т.е., с увеличением рентабельности производства доля затрат, связанная с ремонтом оборудования уменьшается. Адекватно отражает специфику затрат на оборудование и коэффициент корреляции первого. Для разработки множественной регрессионной модели используем кроме факторов x1-x5 и зависимых переменных z и z/φ, приведенных в таблице 2, рассчитанные их средние и стандартизированные среднеквадратичные отклонения (таблица 4).

Таблица 4 - Исходные данные

	x1	x2	x3	x4	x5	z	z/φ
Среднее	36,8	166	14,67	10,644	8,538	59,357	9,22
СКВО	3,18	8,52	2,32	0,505	1,04	16,75	1,08

Для определения влияния каждого фактора на уровень эффективности работы ремонтного производства рассчитаны коэффициенты парной корреляции, которые приведенные в таблицах 5 и 6 (соответственно для z и z/φ).

Таблица 5 - Корреляционная матрица

	x1	x2	x3	x4	x5	z
x1	1,0	0,2271	0,713164	-0,0009	-0,8525	0,682532
x2	0,2271	1,0	0,448347	-0,71127	0,469302	-0,31404
x3	0,713164	0,448347	1,0	-0,12919	-0,19977	0,407045
x4	-0,0009	-0,71127	-0,12919	1,0	-0,21034	0,180255
x5	-0,8525	0,469302	-0,19977	-0,21034	1,0	-0,93602
z	0,682532	-0,31404	0,407045	0,180255	-0,93602	1,0

Таблица 6 - Корреляционная матрица

	x1	x2	x3	x4	x5	z/φ
x1	1,0	0,2271	0,71316	-0,0009	-0,3853	0,59663
x2	0,2271	1,0	0,44835	-0,7113	0,4693	-0,3901
x3	0,71316	0,44835	1,0	-0,1292	-0,2008	0,33677
x4	-0,0009	-0,7113	-0,1292	1,0	-0,2103	0,20593
x5	-0,3853	0,4693	-0,2008	-0,2103	1,0	-0,9678
z/φ	0,59663	-0,3901	0,33677	0,20593	-0,9678	1,0

Расчет параметров регрессионной модели проводился с использованием ПЭВМ типа IBM согласно приведенных выше уравнений и пакета STATGRAPHICS, предназначенного для решения задач статистической обработки данных. Все результаты вычислений сведены в вышеприведенные таблицы 8.5 и 8.6.

Многофакторные модели для z и z/φ зависимости эффективности ремонтного производства от перечисленных выше факторов строились с применением метода многошагового регрессионного анализа с последующим исключением несущественных факторов. Функции аппроксимировались полиномом первой степени со свободным членом. Каждое уравнение оценивалось с помощью ряда статистических показателей: коэффициентов множественной корреляции (R), F - критерия Фишера, F - критерия Стьюдента, уровня значимости для каждой t -статистики. Каждый из этих коэффициентов, как рассмотрено ранее, имеет свое назначение. Например: коэффициент детерминации, является мерой адекватности регрессионной модели; F - проверка адекватности модели; квантиль Стьюдента (tr)- проверка значимости выборочных коэффициентов множественной регрессии.

Результаты расчета коэффициентов регрессии, их стандартизованные среднеквадратичные отклонения, уровни значимости и статистики Стьюдента, соответственно для функции z и z/φ , приведены в таблицах 7 и 8.

Здесь: β_i , $\Delta\beta_i$ стандартизованные коэффициенты регрессии и их погрешности (стандартизованные коэффициенты регрессии используются для определения коэффициентов значимости); V_i , ΔV_i - стандартизованные коэффициенты регрессии и их погрешности.

Таблица 7 - Результаты анализа z

	β_i	$\Delta\beta_i$	B_i	ΔB_i	Статистика Стьюдента	Уровень значимости
Своб.член	0	0	118,3154	6,948051	17,02858	6,97E-05
x1	0,420636	0,010256	2,217293	0,054064	41,01262	2,11 E-06
x2	-0,07673	0,015574	-0,1509	0,030628	-4,92679	0,007891
x3	-0,01203	0,01105	-0,08701	0,079896	-1,08909	0,337336
x4	-0,03267	0,011092	-1,08399	0,368048	-2,94525	0,042168
x5	-0,74723	0,010472	-12,0275	0,168556	-71,3562	2,31 E-07

Таблица 8 - Результаты анализа z/ φ

	β_i	$\Delta\beta_i$	B_i	ΔB_i	Статистика Стьюдента	Уровень значимости
Своб.член	0	0	15,9419	0,80058	19,913	3,8 E-05
x1	0,31639	0,01835	0,1074	0,00623	17,2412	6,6 E-05
x2	-0,1195	0,02787	-0,0151	0,00353	-4,2902	0,01274
x3	-0,0012	0,01977	-0,0005	0,00921	-0,0595	0,95539
x4	-0,0472	0,01985	-0,1009	0,04241	-2,3796	0,07602
x5	-0,8	0,01874	-0,8292	0,01942	-42,695	1,8 E-06

Рассчитаем эти значения и их погрешности по полученным моделям, а также и их минимальные, максимальные и средние значения. Результаты сводим в таблицы 9 и 10.

Таблица 8.9 - Вычисленные значения и погрешности z

	Исходные значения	Вычисленные значения	Погрешность	Стандарт. значения	Стандартиз. вычисленные значения	СКВО по вычис.
1	72,29	72,58476	-0,29476	0,730053	-0,89831	0,23865
2	72,8	72,61736	0,182648	0,791704	0,556633	0,255955
3	77,4	77,37305	0,026947	1,075641	0,082123	0,259498
4	78	78,08855	-0,08855	1,11836	-0,26955	0,245883
5	75,68	75,49143	0,188568	0,963299	0,574676	0,239431
6	40	39,61395	0,386047	-1,17875	1,176509	0,24361
7	42	42,27467	-0,27467	-1,01989	-0,83707	0,255847
8	43,2	43,39804	-0,19804	-0,95282	-0,60355	0,255103
9	46,4	46,36693	0,03307	-0,77557	0,100782	0,305348
10	46,8	46,76127	0,038731	-0,75202	0,118035	0,235167
Минимум	40	39,61395	-0,29476	-1,17875	-0,89831	0,235167
Максимум	78	78,08855	0,386047	1,11836	1,176509	0,305348
Среднее	59,357	59,357	-1,5E-06	1,07E-07	-4,7E-06	0,253449
Медиана	59,045	59,17302	0,030008	-0,01098	0,091453	0,250493

Далее по моделям рассчитываем сводные данные: нормативные коэффициенты, коэффициенты частной корреляции, определяющие линейную зависимость между двумя случайными величинами из некоторой совокупности x_i , когда исключено влияние остальных случайных величин. Вычисления сводим в таблицы 11 и 12.

Таблица 10 - Вычисленные значения и погрешности z/φ

	Исходные значения	Вычисленные значения	Погрешность	Стандартиз. вычисленные значения	СКВО по вычис.
1	10,11	10,1371	-0,071	0,85126	-0,7172
2	10,21	10,2213	-0,0113	0,92931	-0,2985
3	10,398	10,3729	0,02507	1,06993	0,66301
4	10,37	10,3416	0,0284	1,04087	0,75119
5	10,1	10,1172	-0,0172	0,83282	-0,4558
6	8,12	8,09319	0,02681	-1,044	0,70907
7	8,21	8,22841	-0,0184	-0,9186	-0,487
8	8,15	8,12445	0,02555	-1,015	0,67572
9	8,303	8,29758	0,00542	-0,8545	0,14337
10	8,22	8,2572	-0,0372	-0,892	-0,9838
Минимум	8,12	8,09319	-0,0372	-1,044	-0,9838
Максимум	10,398	10,3729	0,0284	1,06993	0,75119
Среднее	9,2191	9,2191	1,9E-07	-2E-07	5E-06
Медиана	9,2015	9,20741	-0,0029	-0,0108	-0,0776

Таблица 11 - Сводные данные результатов регрессионного анализа z

	Нормализованные коэффициенты	Частная корреляция	Доверит. интервал	R2	Статистика Стьюдента	Уровень значимости
x1	0,420636	0,998813	0,405332	0,594668	41,01262	1,63E-07
x2	-0,07673	-0,92657	0,175786	0,824214	-4,92679	0,004372
x3	-0,01203	-0,47823	0,349208	0,650792	-1,08909	0,325801
x4	-0,03267	-0,82729	0,346542	0,653458	-2,94525	0,032061
x5	-0,74723	-0,99961	0,388814	0,611186	-71,3562	1,02E-08

Таблица 12 - Сводные данные результатов регрессионного анализа z/φ

	Нормализованные коэффициенты	Частная корреляция	Доверит. интервал	R2	Статистика Стьюдента	Уровень значимости
x1	0,31639	0,99334	0,40533	0,59467	17,2412	1,2E-05
x2	-0,1195	-0,9064	0,17579	0,82421	-4,2902	0,00779
x3	-0,0012	-0,0297	0,34921	0,65079	-0,0595	0,95484
x4	-0,0472	-0,7655	0,34654	0,65346	-2,3796	0,0632
x5	-0,8	-0,9989	0,38881	0,61119	-42,695	1,3E-07

Кроме характеристик моделей, приведенных в таблицах 9-12, для функций z и z/φ определяем коэффициенты множественной корреляции (R), множественные коэффициенты детерминации (R^2), нормализованные коэффициенты детерминации (R^2_n), а именно: для функции z : $R=0,99991$; $R^2=0,999983$; $R^2_n=0,99962$; для функции z/φ : $R=0,999973$; $R^2=0,99945$; $R^2_n=0,99877$.

Полученные значения коэффициентов множественной корреляции (близки к единице) показывают «хорошую» степень аппроксимации модели линейными уравнениями, а коэффициенты детерминации (множественный и нормализованный) (близки к единице) – указывают на высокую степень адекватности регрессионной модели.

Для функций z и z/φ осуществляем анализ адекватности модели. Для функции z : статистика Фишера $F(5, 4) = 4689,9$ при вероятности $p < 0,00001$; погрешность аппроксимации составляет $0,32818$. Для функции z/φ : статистика Фишера $F(5, 4) = 1464,5$ при вероятности $p < 0,00001$; погрешность аппроксимации составляет $0,03781$. Полученные значения показывают, что обе модели (8.21) и (8.22) значимы и адекватны.

Анализ коэффициентов, приведенных в таблицах 11 и 12, позволил проранжировать их по степени влияния на результативные показатели:

$$z : x_5 > x_1 > x_2 > x_4 > x_3 .$$

$$z/\varphi : x_5 > x_1 > x_2 > x_4 > x_3 .$$

Выводы: В результате проведенных исследований получены регрессионные модели (парные и множественные), которые могут быть использованы для анализа и прогнозирования ремонтного производства предприятий черной металлургии. Осуществлено также ранжирование факторов по степени их влияния на результативные показатели в следующем порядке: рентабельность предприятия; износ основных фондов; отношение затрат на текущие ремонты оборудования к капитальным затратам; отношение численности персонала, занятого подготовкой и проведением ремонтов основных фондов централизованным способом к численности персонала, выполняющих ремонт и обслуживание децентрализованным способом; получены доверительные интервалы при принятой 95% доверительной вероятности, которые позволяют судить о точности и достоверности получаемых оценок.

Список літератури: 1. Акбердин Р.З. Сравнительный экономический анализ резервов ремонтного обслуживания. Методические рекомендации // Свердловский институт народного хозяйства: Свердловск, 1970. – 101с. 2. Власов Б.В., Семенов В.М. Повышение эффективности вспомогательных производств. – М.: Экономика, 1983. 3. Мельникова К.И. Экономическая оценка качества ремонта оборудования. – Харьков: Основа, при ХГУ, 1991. – 192с.

Bibliography (transliterated): 1. Akberdin R.Z. *Sravnitel'nyj jekonomicheskij analiz rezervov remontnogo obsluzhivaniya*. Metodicheskie rekomendacii // Sverdlovskij institut narodnogo hozjajstva: Sverdlovsk, 1970. – 101s. 2. Vlasov B.V., Semenov V.M. *Povyshenie jeffektivnosti vspomogatel'nyh proizvodstv*. – M.: Jekonomika, 1983. 3. Mel'nikova K.I. *Jekonomicheskaja ocenka kachestva remonta oborudovaniya*. – Har'kov: Osнова, pri HGU, 1991. – 192s.

Надійшла до редколегії 27.03.2014