

*Помазков М.В.*

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

## МНОЖЕСТВЕННЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ТРУДОЗАТРАТ НА РЕМОНТ ОТ ОТКАЗОВ В РАБОТЕ СИСТЕМ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ-7540

*В статье выполнен анализ теории и практики работы промышленной транспортной системы утилизации шлаков и шламов, а также анализ известных методов ресурсосбережения транспортных средств в период перевозки шлаков и шламов при аварийном выходе из строя автосамосвалов. Разработаны регрессионные модели расчета зависимости трудозатрат на ремонт от отказов в работе, позволяющие дать количественную оценку зависимости в работе систем управления большегрузных автосамосвалов.*

**Ключевые слова:** система ремонта и технического обслуживания, заявочный ремонт, равномерно распределенный ресурс самосвала, уравнение линейной регрессии, состояние напряженности.

**Постановка проблемы.** В системе ремонта и технического обслуживания автосамосвалов БелАЗ-7540, используемых на технологических перевозках, значительное место занимают внеплановые заходы в гараж для устранения неотложных неисправностей (заявочные ремонты). Заявочные ремонты выполняются вне плановой системы ремонтов и текущего содержания, на их выполнение отвлекаются трудовые и финансовые ресурсы, увеличивается холостой пробег автомобиля и его простой в ремонте, что негативно сказывается на эффективности использования автопарка в целом [1, с. 9–14].

Техническое обслуживание и ремонт автосамосвалов представляют собой определенную систему профилактических и других воздействий на узлы и элементы конструкции с целью обеспечения их работоспособности и назначенного ресурса (или срока службы). Эксплуатация самосвалов как восстанавливаемых объектов сопровождается двумя потоками событий – потоком отказов элементов и узлов и потоком восстановления их работоспособности. При этом интенсивность потока восстановления работоспособности должна быть не менее интенсивности (параметра) потока отказов. То есть система восстановления и обеспечения их работоспособности должна иметь определенный резерв.

Сущность планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта карьерных автомобилей состоит в выполнении установлен-

ных видов технического обслуживания и ремонта в соответствии со структурой цикла. При каждом виде технического обслуживания и планового ремонта выполняются работы, установленные нормативами и перечнем операций. Работы, не предусмотренные перечнем операций, учитываются соответствующим увеличением трудоемкости всего процесса.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ научных работ и публикаций в сфере систем технического обслуживания и ремонта карьерных самосвалов в условиях промышленных предприятий горно-металлургического комплекса позволил сделать ряд обобщений и определений, необходимых для получения новых научных и практических решений [2, с. 203–204; 3, с. 229–233]. С этой целью вводится понятие обобщенной характеристики состояния напряженности самосвала в маршруте – как относительной способности и потенциальных возможностей выполнять функции в маршруте в пределах допускаемых отклонений по ресурсу.

Ресурс самосвала – есть функция его обобщенной характеристики – способности и потенциальных возможностях функционировать в условиях промышленной среды –  $R = F(E_x)$ .

Обобщенная характеристика  $E_x$  служебных свойств самосвала может расчленяться на части, каждая из которых будет выражать обобщенную характеристику служебных свойств узлов (табл. 1.2–1.4).

В тоже время для самосвалов, как и для других технических средств, важно различать две составляющие обобщенной характеристики.

Одной группой являются конструктивные элементы, другой – неконструктивные. Конструктивные – это узлы, входящие в состав самосвала, его материальные элементы.

Неконструктивные – это неотделяемые элементы, обеспечивающие необходимую связь или нормальное функционирование самосвала (смазка, окраска, сборка, регулировка), которые реализуются через зафиксированную трудоемкость этих процессов и наличие которых делает самосвал пригодным к работе.

Анализ работ [6; 7–10] и позволяет сформулировать важную гипотезу: обоснование организационно-технологических решений ресурсосбережения заключается в разработке такого графика выхода самосвалов на линию, когда достигается равномерное использование ресурса парка с вкладом взаимосвязанных факторов оптимальной долговечности и необходимых подгруппировок к операциям ТО и Р.

**Постановка задачи.** Наибольшие потери ресурсов приходятся на рабочие процессы в период перевозки шлаков и шламов при аварийном выходе из строя автосамосвалов, необходимости вывода его из маршрута и выполнения аварийных ремонтов [1, с. 26].

Ресурсные возможности автосамосвалов, их узлов, участвующих в процессах, зависят от разнообразия, сложности и напряженности маршрута, технологический процесс которого включает погрузку, оформление документов и выезд с грузом, движение к месту выгрузки, выгрузка, движение к месту погрузки, заезд в гараж, устранение неисправностей и движение к месту погрузки, ожидание разрешения въезда на отвалы и карьеры предприятий ГМК, выезд с грузом и маневры по постановке машин у экскаватора.

Существует еще один не реализованный в полной мере принцип, развивающий технологию использования транспортного средства по новому назначению. Этот принцип основывается на равномерном распределенном ресурсе парка однотипных транспортных средств, принадлежащих промышленному предприятию и используемых в маршрутах разной напряженности, а также оптимизация системы ТО и ТР в условиях промышленных предприятий горно-металлургического комплекса.

**Изложение основного материала исследования.** По данным матрицы  $X$  рассмотрим оценку линейной регрессионной зависимости:

$$\hat{x}_{1,2345} = b_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5, \quad (1)$$

результативного признака  $X_1$  от факторов  $X_2; X_3; X_4; X_5$ .

Пронормировав случайные величины  $X_j$

$$t_j = \frac{x_j - \bar{x}_j}{s_j}, \quad (2)$$

где  $j = \overline{1,5}$ , получим уравнение регрессии в стандартизованном масштабе

$$\hat{t}_{1,2345} = \beta_2t_2 + \beta_3t_3 + \beta_4t_4 + \beta_5t_5, \quad (3)$$

где 
$$\beta_j = b_j \frac{s_j}{s_1} \quad j = \overline{2;5}, \quad (4)$$

$$b_j = \beta_j \frac{s_1}{s_j} \quad j = \overline{2;5}, \quad (5)$$

а

$$b_1 = \bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2 - b_3\bar{x}_3 - b_4\bar{x}_4 - b_5\bar{x}_5, \quad (6)$$

Вначале составим корреляционную матрицу:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,56 & 0,48 & 0,58 & 0,25 \\ 0,56 & 1 & 0,46 & 0,14 & 0,10 \\ 0,48 & 0,46 & 1 & 0,15 & 0,04 \\ 0,58 & 0,14 & 0,15 & 1 & 0,30 \\ 0,25 & 0,10 & 0,04 & 0,30 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Для коэффициентов корреляции  $r_{ij}$ ,  $j = \overline{2;5}$  определим наблюдаемые значения критерия:

$$|t_{набл.}| = \frac{r_{ij}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}}, \quad (8)$$

$$\begin{matrix} r_{ij} & 0,56 & 0,48 & 0,58 & 0,25 \\ |t_{набл.}| & 3,50 & 2,82 & 3,87 & 1,39 \end{matrix}$$

Табличное значение  $t$  – критерия Стьюдента на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $n - 2 = 30 - 2 = 28$  оказалось равным 2,05. Следовательно, коэффициенты корреляции  $r_{12} = 0,56$ ;  $r_{13} = 0,48$ ;  $r_{14} = 0,58$  значимы на уровне  $\alpha = 0,05$ . Коэффициент корреляции  $r_{15} = 0,25$  значим на уровне 0,20.

Уравнение регрессии в стандартизованном масштабе получено в виде:

$$\hat{t}_{1,2345} = 0,41t_2 + 0,25t_3 + 0,52t_4 + 0,07t_5, \quad (9)$$

или в виде:

$$\frac{\hat{x}_{1,2345} - \bar{x}_1}{s_1} = 0,41 \frac{x_2 - \bar{x}_2}{s_2} + 0,25 \frac{x_3 - \bar{x}_3}{s_3} + 0,52 \frac{x_4 - \bar{x}_4}{s_4} + 0,07 \frac{x_5 - \bar{x}_5}{s_5}, \quad (10)$$

А уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$\hat{x}_{1,2345} = 33,11 + 6,28x_2 + 4,32x_3 + 12,31x_4 + 1,74x_5, \quad (11)$$

Коэффициент множественной детерминации:

$$R_{1,2345}^2 = \beta_2r_{12} + \beta_3r_{13} + \beta_4r_{14} + \beta_5r_{15}, \quad (12)$$

оказался равным  $R_{1,2345}^2 = 0,67$ . Это значит, что 67% колеблемости результативного признака (трудозатраты на ремонт) объясняется за счет вариации линейной комбинации отказов в работе систем электрооборудования, шиномонтажа, пневмосистем и гидросистем, при данных значениях коэффициентов регрессии  $\beta_j, j = \overline{2;5}$ .

Величина  $(1 - R_{1,2345}^2) = 1 - 0,67 = 0,33$  определяет «необъясненную» долю колеблемости результативного признака, связанную с вариацией неучтенных факторов. Отметим, что вклад каждого учтенного фактора  $X_j, j = \overline{2;5}$  в общую колеблемость признака  $X_1$  определяется в виде произведения  $\beta_j r_{1j}$ , выраженного в процентах.

Из предлагаемой таблицы

$X_j$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$\beta_j$	0,41	0,25	0,52	0,07
$r_{1j}$	0,56	0,48	0,58	0,25
$\beta_j r_{1j}$	0,23	0,12	0,30	0,02

следует, что 23% колеблемости трудозатрат на ремонт связано с вариацией отказов в работе систем электрооборудования;

12% – с вариацией отказов в работе систем шиномонтажа;

30% – с вариацией отказов в работе пневмосистем;

2% – с вариацией отказов в работе гидросистем.

Коэффициент множественной корреляции  $R_{1,2345} = 0,82$ . Его скорректированное значение определяется по формуле

$$\hat{R}_{1,2345} = \sqrt{1 - (1 - R_{1,2345}^2) \frac{n-1}{n-k-1}}, \quad (13)$$

и равно

$$\hat{R}_{1,2345} = \sqrt{1 - (1 - 0,82^2) \frac{30-1}{30-4-1}} \approx 0,79$$

Определим теперь

$$F_{набл.} = \frac{\hat{R}_{1,2345}^2 \cdot (n-k-1)}{(1 - \hat{R}_{1,2345}^2) \cdot k} = \frac{0,79^2 \cdot (30-4-1)}{(1-0,79^2) \cdot 4} = 6,36$$

и найдем по таблицам при  $\alpha = 0,05$  значение

$$F_{кр.} = F(\alpha; k_1; k_2) = F(0,05; 4; 25) = 2,76$$

Так как  $F_{набл.} > F_{кр.}$ , гипотеза об отсутствии корреляционной связи между признаком  $X_1$  и факторами  $X_2; X_3; X_4; X_5$  отвергается, а множественный коэффициент корреляции признается существенным.

Рассмотрим теперь роль коэффициентов в стандартизованном уравнении регрессии (10).

Пусть  $x_2 = \bar{x}_2 + s_2, x_3 = \bar{x}_3; x_4 = \bar{x}_4; x_5 = \bar{x}_5$ . Тогда из уравнения (10) следует, что

$$\hat{x}_1 = \bar{x}_1 + \beta_2 \cdot S_1 = \bar{x}_1 + 0,41 \cdot 25,57 = \bar{x}_1 + 10,48,$$

т.е. при увеличении среднего числа отказов в работе систем электрооборудования на величину  $s_2 = 1,67$  среднее значение трудозатрат на ремонт возрастает на 10,48 при условии, что значения остальных факторов будут зафиксированы на средних уровнях.

Аналогично, при увеличении среднего значения отказов в работе систем шиномонтажа на величину  $s_3 = 1,48$  среднее значение трудозатрат на ремонт увеличивается на  $\beta_3 \cdot s_1 = 0,25 \cdot 25,57 = 6,40$  при условии, что  $x_2 = \bar{x}_2; x_4 = \bar{x}_4; x_5 = \bar{x}_5$ . При увеличении среднего значения отказов в работе пневмосистем на величину  $s_4 = 1,08$  среднее значение трудозатрат увеличивается на  $\beta_4 \cdot s_1 = 0,52 \cdot 25,57 = 13,30$  при условии, что  $x_2 = \bar{x}_2; x_3 = \bar{x}_3; x_5 = \bar{x}_5$ . Наконец, при увеличении среднего значения фактора  $X_5$  на величину  $s_5 = 0,91$  среднее значение признака  $X_1$  увеличится на  $\beta_5 \cdot s_1 = 0,07 \cdot 25,57 = 1,79$  при условии, что  $x_2 = \bar{x}_2; x_3 = \bar{x}_3; x_4 = \bar{x}_4$ .

Таким образом, величина  $j$ -го стандартизованного коэффициента показывает, что среднее значение признака  $X_1$  изменяется на величину  $\beta_j$  своего среднеквадратического отклонения  $s_j$  при изменении фактора  $X_j$  на одно свое среднеквадратическое отклонение при фиксированных на средних уровнях значениях остальных факторов.

Кроме того, так как все величины выражены в сравнимых единицах,  $\beta_j$  показывает сравнительную силу влияния изменения каждого фактора на зависимую переменную.

Рассмотрим теперь линейное уравнение (11) множественной регрессии и выясним роль коэффициентов  $b_j, j = \overline{2;5}$  в этом уравнении.

В уравнении (11) значение фактора  $X_2$  увеличим на  $\Delta x_2 = 1$ , а значения остальных факторов оставим без изменения. Тогда получим:

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_1(x_2 + \Delta x_2; x_3; x_4; x_5) = 33,11 + 6,28(x_2 + \Delta x_2) + 4,32x_3 + 12,31x_4 + 1,74x_5, \quad (14)$$

и

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_1(x_2; x_3; x_4; x_5) = 33,11 + 6,28x_2 + 4,32x_3 + 12,31x_4 + 1,74x_5 \quad (15)$$

Откуда будем иметь:  $\Delta_{x_2} \hat{x}_1 = 6,28 \cdot \Delta x_2$ , или  $\Delta_{x_2} \hat{x}_1 = 6,28$  при  $\Delta x_2 = 1$ . Это значит, что с увеличением отказов в работе систем электрооборудования на единицу затраты на ремонт возрастают на 6,28 при условии, что остальные факторы остаются неизменными.

Аналогично можно показать, что с увеличением отказов в работе систем шиномонтажа на единицу затраты на ремонт возрастут на 4,32; с увеличением отказов в работе пневмосистем на

единицу затраты на ремонт возрастут на 12,31, а с увеличением отказов в работе гидросистем на единицу затраты на ремонт возрастут на 1,74 при условии, что все остальные соответствующие факторы в каждом из рассмотренных случаев остаются неизменными.

Таким образом, коэффициенты  $b_j, j = \overline{2;5}$  линейного уравнения (11) множественной регрессии показывают, на сколько единиц в натуральном масштабе изменяется результативный признак  $X_1$  с изменением фактора  $X_j$  на единицу масштаба при закрепленных значениях остальных факторов на определенных уровнях.

Отметим, что при анализе уравнения регрессии (11) вместо коэффициентов  $b_j$  удобнее использовать частные коэффициенты эластичности:

$$\mathcal{E}_j = b_j \frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_1}, \quad j = \overline{2;5}, \quad (16)$$

Они показывают, на сколько процентов в среднем изменяется результативный признак  $X_1$  с изменением фактора  $X_j, j = \overline{2;5}$  на один процент при фиксированных значениях остальных факторов.

В рассматриваемой задаче значения частных коэффициентов эластичности оказались равными 0,27, 0,12, 0,28 и 0,02 соответственно. Отметим также, что данные расчетов по уравнению (11) множественной линейной регрессии в целом согласуются с результатами наблюдений со средней ошибкой аппроксимации, равной примерно 10%.

Так при фактических отказах в работе систем электрооборудования ( $x_2 = 4, 6$ ), систем шиномонтажа ( $x_3 = 1, 6$ ), пневмосистем ( $x_4 = 2, 3$ ) и гидросистем ( $x_5 = 2, 0$ ) и затратах на ремонт ( $x_1 = 100, 0$ ) расчетное значение затрат на ремонт оказалось равным  $\hat{x}_1 = 93,8$ , что дает примерно шестипроцентную относительную погрешность.

Прежде всего, по данным матрицы  $X$  составим корреляционную матрицу

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,71 & 0,47 & 0,54 & 0,05 \\ 0,71 & 1 & 0,46 & 0,14 & 0,10 \\ 0,47 & 0,46 & 1 & 0,15 & 0,04 \\ 0,54 & 0,14 & 0,15 & 1 & 0,30 \\ 0,05 & 0,10 & 0,04 & 0,30 & 1 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

Проверим значимость коэффициентов корреляции  $r_{12} = 0,71; r_{14} = 0,54$ ; и  $r_{15} = 0,05$ . Наблюдаемые значения  $t$ -критерия оказались равными 5,46, 2,94 3,38 и 0,26 соответственно, а критическое значение  $t$ -критерия на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $n - 2 = 30 - 2 = 28$  равно 2,05. Следовательно, парные линейные корреляционные зависимости между временем простоя в ремонте и каждым из факторов: отказы в работе систем электрооборудования, отказы в работе

систем шиномонтажа и отказы в работе пневмосистем являются довольно значительными и значимыми. А корреляция между временем простоя в ремонте и отказами в работе гидросистем практически отсутствует: коэффициент корреляции  $r_{15} = 0,05$  крайне мал и незначим. В связи с этим включать фактор  $X_5$  в уравнение множественной регрессии не рекомендуется.

Определим теперь частные коэффициенты корреляции:

$$r_{12.34} = \frac{-R_{12}}{\sqrt{R_{11} \cdot R_{22}}} = \frac{0,4153}{\sqrt{0,7656 \cdot 0,5450}} = 0,64$$

$$r_{13.24} = \frac{-R_{13}}{\sqrt{R_{11} \cdot R_{33}}} = \frac{0,1028}{\sqrt{0,7656 \cdot 0,2920}} = 0,22$$

$$r_{14.23} = \frac{-R_{14}}{\sqrt{R_{11} \cdot R_{44}}} = \frac{0,3350}{\sqrt{0,7656 \cdot 0,3704}} = 0,63$$

Отметим, что выборочным частным коэффициентом корреляции между переменными  $X_j$  и  $X_m$  при фиксированных значениях остальных  $(k - 2)$  переменных называется величина

$$r_{jm.12...p} = \frac{-R_{jm}}{\sqrt{R_{jj} \cdot R_{mm}}}, \quad (18)$$

Где  $R_{jm}, R_{jj}$  и  $R_{mm}$  – алгебраические дополнения элементов  $r_{jm}; r_{jj}; r_{mm}$  матрицы  $R$  выборочных коэффициентов корреляции.

Наблюдаемые значения  $t$ -критерия для частных коэффициентов корреляции  $r_{12.34} = 0,64; r_{13.24} = 0,22; r_{14.23} = 0,63$  оказались равны 4,41, 4,19 и 4,22.

Критическое значение  $t$ -критерия на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числа степеней свободы  $n - k + 2 = 30 - 4 + 2 = 28$  равно 2,05.

Таким образом, частные коэффициенты корреляции между временем простоя в ремонте и отказами в работе систем электрооборудования и между временем простоя в ремонте и отказами в работе пневмосистем значительны по величине и значимы. А частный коэффициент корреляции между временем простоя в ремонте и отказами в работе системы шиномонтажа мал по величине и значим только на уровне  $\alpha = 0,25$ .

Таким образом, уравнение множественной линейной регрессии в стандартизованном масштабе можно представить в виде

$$\hat{t}_{1.234} = \beta_2 t_2 + \beta_3 t_3 + \beta_4 t_4, \quad (19)$$

Выборочные оценки коэффициентов уравнения (3) определены методом наименьших квадратов. В результате получены уравнение (4)

$$\hat{t}_{1.234} = 0,59t_2 + 0,13t_3 + 0,44t_4, \quad (20)$$

и уравнение (5)

$$\frac{\hat{x}_{1.234} - \bar{x}_1}{s_1} = \beta_2 \frac{x_2 - \bar{x}_2}{s_2} + \beta_3 \frac{x_3 - \bar{x}_3}{s_3} + \beta_4 \frac{x_4 - \bar{x}_4}{s_4}$$



или

$$\frac{\hat{x}_{1,234} - 73,46}{16,84} = 0,59 \frac{x_2 - 4,84}{1,67} + 0,13 \frac{x_3 - 3,22}{1,48} + 0,44 \frac{x_4 - 2,51}{1,08} \quad (21)$$

Тогда уравнение множественной регрессии в натуральном масштабе может быть представлено в виде:

$$\hat{x}_{1,234} = b_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4, \quad (22)$$

В рассматриваемой задаче уравнение (6) получено в виде

$$\hat{x}_{1,234} = 22,68 + 5,95x_2 + 1,48x_3 + 6,86x_4, \quad (23)$$

где

$$b_j = \beta_j \frac{s_1}{s_j}, \quad j = \overline{2;4},$$

$$b_1 = \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2 - b_3 \bar{x}_3 - b_4 \bar{x}_4, \quad (24)$$

Коэффициент множественной детерминации:

$$R_{1,234}^2 = \beta_2 r_{12} + \beta_3 r_{13} + \beta_4 r_{14} =$$

$$= 0,59 \cdot 0,71 + 0,13 \cdot 0,47 + 0,44 \cdot 0,56 =$$

$$= 0,42 + 0,06 + 0,24 = 0,72$$

Следовательно, 72% колеблемости времени простоя в ремонте объясняется вариацией линейной комбинации отказов в работе систем электрооборудования, шиномонтажа и пневмосистем, при данных значениях коэффициентов  $\beta_j$ ,  $j = \overline{2;4}$ . При этом 42% колеблемости времени простоя в ремонте связано с вариацией отказов в работе систем электрооборудования, 6% с вариацией отказов в работе систем шиномонтажа и 30% – с вариацией отказов в работе пневмосистем.

Коэффициент множественной корреляции  $R_{1,234}$  оказался равным 0,85. Его скорректированное значение равно:

$$R_{1,234}^2 = \beta_2 r_{12} + \beta_3 r_{13} + \beta_4 r_{14} =$$

$$= 0,59 \cdot 0,71 + 0,13 \cdot 0,47 + 0,44 \cdot 0,56 =$$

$$= 0,42 + 0,06 + 0,24 = 0,72$$

По  $F$  – критерию проверим адекватность уравнения множественной регрессии результатам наблюдений и значимость коэффициента множественной корреляции.

Находим вначале:

$$\hat{R}_{1,234} = \sqrt{1 - (1 - R_{1,234}^2) \frac{n-1}{n-k-1}} =$$

$$= \sqrt{1 - (1 - 0,85^2) \cdot \frac{30-1}{30-3-1}} = 0,83$$

Табличное значение  $F$  – критерия, определенное на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  при  $k_1 = 3$  и  $k_2 = 30 - 3 - 1 = 26$  степенях свободы равно  $F_{0,05;3;26} = 2,96$ .

Так как  $F_{табл.} > F_{табл.}$ , то уравнение регрессии адекватно, а коэффициент множественной корреляции значим.

Следовательно, зависимая переменная  $X_1$  (время простоя в ремонте) достаточно хорошо описывается включенными в регрессионную модель факторами  $X_2$  (отказы в работе систем электрооборудования),  $X_3$  (отказы в работе систем шиномонтажа) и  $X_4$  (отказы в работе пневмосистем).

Из уравнения (5) следует, что если среднее значение отказов в работе систем электрооборудования  $\bar{x}_2 = 4,84$  увеличится на  $s_2 = 1,67$ , при  $x_3 = \bar{x}_3$  и  $x_4 = \bar{x}_4$ , то среднее время простоя в ремонте  $\bar{x}_1 = 73,47$  увеличится на  $\beta_2 \cdot s_1 = 0,59 \cdot 16,84 = 9,94$ . При увеличении среднего значения отказов в работе систем шиномонтажа  $\bar{x}_3 = 3,22$  на  $s_3 = 1,48$  при  $x_2 = \bar{x}_2$ ,  $x_4 = \bar{x}_4$ , среднее время простоя в ремонте возрастет на  $\beta_3 \cdot s_1 = 0,13 \cdot 16,84 = 2,19$ .

А при увеличении среднего значения отказов в работе пневмосистем  $\bar{x}_4 = 2,51$  на  $s_4 = 1,08$  при  $x_2 = \bar{x}_2$ ;  $x_3 = \bar{x}_3$ , среднее время простоя в ремонте возрастет на  $\beta_4 \cdot s_1 = 0,44 \cdot 16,84 = 7,41$ .

Рассмотрим теперь уравнение (7) множественной регрессии в натуральном масштабе. Если в этом уравнении отказы в работе систем электрооборудования увеличить на единицу, а переменные  $x_3$  и  $x_4$  оставить без изменений, то время простоя в ремонте увеличится на 5,95. При увеличении отказов в работе систем шиномонтажа на единицу и неизменных значениях переменных  $x_2$  и  $x_4$ , время простоя в ремонте увеличится на 1,48. Наконец, при увеличении отказов в работе пневмосистем на единицу и неизменных значениях переменных  $x_2$  и  $x_3$ , время простоя в ремонте увеличится на 6,86.

Частные коэффициенты эластичности

$$\mathcal{E}_j = b_j \frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_1}, \quad j = \overline{2;4}, \quad (25)$$

по данным рассматриваемой задачи оказались равны 0,39, 0,06, 0,23. Они показывают, на сколько процентов изменится время простоя в ремонте с изменением фактора  $X_j$ ,  $j = \overline{2;4}$  на один процент при фиксированных значениях остальных факторов.

Наконец, отметим, что результаты расчетов по уравнению (26) множественной линейной регрессии вполне удовлетворительно согласуются с результатами наблюдений со средней ошибкой аппроксимации, равной примерно 6%.

Так, например, при фактических значениях факторов  $x_2 = 8,0$ ;  $x_3 = 6,0$ ;  $x_4 = 2,3$  и результативного признака  $x_1 = 92,0$  расчетное значение результативного признака по уравнению регрессии (7)

оказалось равным  $\hat{x}_1 = 94,9$ , что даст примерно трехпроцентную относительную погрешность.

Разработанные регрессионные модели расчета позволяют дать количественную оценку зависимости трудозатрат на ремонт от отказов в работе систем большегрузных автосамосвалов и могут использоваться для разработки оптимальной системы технического обслуживания автотранспорта в условиях промышленных предприятий.

**Выводы.** Эксплуатация автосамосвалов БелАЗ-7540 на металлургическом предприятии весьма специфичны и значительно отличаются от условий эксплуатации предписанных заводом-изготовителем.

Круглосуточная работа с грузом, имеющим весьма разнообразные физико-механические свойства (влажность до 30%, температура до 300°C и выше, плотность 1,0 до 3,2 т/м<sup>3</sup> и др.). Эксплуатация на различных по своим характеристикам (длине, продольным и поперечным уклонам, радиусам кривых в плане и профиле, состоянию покрытия проезжей части), маршрутам, высокие динамические нагрузки при погрузке груза в автосамосвалы приводят к быстрому ухудшению технического состояния и поломкам автомобилей на линии.

Анализ регрессионных и корреляционных показателей даёт основания считать, что в сложных и тяжёлых условиях эксплуатации большегрузных автосамосвалов показатели изменения коэффициента использования машин, вводимых в работу, характеризуется тремя этапами. На первом этапе (1–1,5 года) происходит значительное снижение коэффициента использования машин; на втором (2,5–3 года) коэффициент использования стабилизируется, на третьем (1–1,5 года) он вновь снижается до уровня, когда эксплуатировать машину становится технически нецелесообразно и экономически невыгодно.

Кроме того, установлено, что в среднем за год происходит снижение коэффициента использования парка машин на 10–12%. Особенно ощутимо это снижение после 5–6 лет эксплуатации, когда оно может достигать 35–40% за год.

Вышеизложенное показывает, что работоспособность автосамосвалов БелАЗ-7540 в значительной мере определяется системой технического обслуживания. При ограниченных сроках службы машины (5–6 лет) и экономической нецелесообразности их ремонта продление работоспособности автосамосвалов, при их использовании на технологических перевозках, в значительной мере определяется системой технического обслуживания.

#### Список литературы:

1. Губенко В.К., Лямзин А.А., Помазков М.В. Логистика ресурсосберегающей технологии работы автосамосвалов в горно-металлургическом комплексе. Мариуполь, 2012. 222 с.
2. Помазков М.В. Анализ показателей эксплуатации автомобилей БелАЗ на технологических перевозках металлургических заводов. XII региональная научно-техническая конференция «Университет городу» посвященная 75-летию ун-та: материалы 12 научн.-техн. конференции. (Мариуполь, 25–27 апреля 2005 г). Мариуполь, 2005. С. 203–204.
3. Баранов В.В. Принятие эффективных решений в системах автомобильного транспорта Логістика промислових регіонів: матеріали 3-ї міжн. наук.-практ. конф. (Донецьк, 6–9 апреля, 2011 г.). Донецк, 2011. С. 229–233.
4. Глебов А.В. Определение предельных сроков эксплуатации карьерных самосвалов: метод. указ. Екатеринбург, 2007. 72 с.
5. Парунакян В.Э., Помазков М.В. Принципы совершенствования системы управления техническим содержанием большегрузных автосамосвалов на технологических перевозках металлургических комбинатов. Вісник Приазовського державного технічного університету. 2005. Вип. 15. Ч. 1. С. 186–190.
6. Губенко В.К., Помазков М.В. Ресурсосберегающая технология маршрутизации автосамосвалов на металлургическом предприятии. Вісник Приазовського державного технічного університету 2010. Вип. 20. С. 198–203.
7. Андрианов Ю.В. Региональная система поддержания работоспособности автомобилей. Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей. 1990. № 4. С. 3.
8. Аулін В.В. Особливості організації та складання графіків вантажних перевезень кар'єрними автосамоскидами. Логістика промислових регіонів: матеріали 3-ї міжн. наук.-практ. конф. (Донецьк, 6–9 апреля, 2011 г.). Донецк, 2011. С. 319–323.
9. Помазков М.В. Маршрутизация и ресурс большегрузных автосамосвалов БелАЗ в условиях металлургического предприятия. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2010. Вип. 10 (152). С. 141–145.
10. Пурцхванидзе А.К. Повышение эффективности использования автомобилей путем разработки стратегии текущего ремонта в условиях автотранспортного предприятия: дис. ...канд. техн. наук: 05.22.12. Москва, 1992. 190 с.

**МНОЖИННИЙ РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТРУДОВИТРАТ  
НА РЕМОНТ ВІД ВІДМОВ У РОБОТІ СИСТЕМ АВТОСАМОСКИДІВ БЕЛАЗ-7540**

*У статті виконано аналіз теорії і практики роботи промислової транспортної системи утилізації шлаків і шламів, а також аналіз відомих методів ресурсозбереження транспортних засобів у період перевезення шлаків і шламів при аварійному виході з ладу автосамоскидів. Розроблені регресійні моделі розрахунку залежно від трудовитрат на ремонт від відмов у роботі дають змогу дати кількісну оцінку залежності в роботі систем управління великовантажних автосамоскидів.*

**Ключові слова:** система ремонту і технічного обслуговування, заявочний ремонт, рівнорозподілений ресурс самоскида, рівняння лінійної регресії, стан напруженості.

**MULTIPLE REGRESSIONAL ANALYSIS OF DEPENDENCE OF EXPOSURE  
ON REPAIR FROM FAILURE IN THE WORK OF SYSTEMS OF DUMP TRUCKS BELAZ-7540**

*The article analyzes the theory and practice of the industrial transport system for utilization of slags and sludges, as well as the analysis of known methods of resource saving of vehicles during the transportation of slags and sludges in the event of an emergency failure of dump trucks. Regression models have been developed for calculating the labor costs for repairs from failures in operation, which allow quantifying the dependence in the operation of control systems for heavy-duty dump trucks.*

**Key words:** system of maintenance and repair, repair on request, equidistant dump truck resource, linear regression equation, state of tensions.