

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ АВАРИЙНОСТИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АВТОТРАНСПОРТЕ КАРЬЕРОВ

В. Л. Яковлев,
член-корр. РАН, проф., д. т. н. (ИГД УрО РАН)

В. Л. Могилат,
д. т. н., (УГЛУ)

А. Н. Тырсин,
к. т. н., (ЧелГУ)

В процессе эксплуатации карьерного автомобильного транспорта на открытых горных работах функционирует система «водитель — автомобиль — дорога — среда» (ВАДС). От надежности и безопасности работы этой системы зависит общий уровень аварийности на карьерном технологическом автотранспорте. Для надежного прогнозирования поведения системы ВАДС было разработано две модели, отражающие зависимость травматизма от уровня информированности и компетентности персонала, а также от комплексного влияния всех элементов системы. При отсутствии у персонала компетентности и информированности необходимо уровня или одного из этих факторов развитие опасной производственной ситуации закономерно приводит к инциденту, аварии или катастрофе вследствие того, что принятие адекватного решения по обеспечению промышленной безопасности в этих условиях невозможно.

На основании результатов анализа статистических данных по авариям и несчастным случаям, произошедшим на горных предприятиях России, разработана вероятностно-статистическая модель связи травматизма с информированностью и компе-

тентностью персонала. В данной работе информированность понимается как достоверное знание персонала о фактическом состоянии объекта, а компетентность — как способность действовать адекватно реальной обстановке на основе надежных концептуальных моделей поведения объекта управления. Для формализации представления и практического использования этих моделей вводятся обозначения:

TR — уровень травматизма, интерпретируемый как количество случаев травмирования за год в расчете на 1000 работающих;

K_k — коэффициент компетентности работников;

K_i — коэффициент информированности работников.

Оценка готовности работников к выполнению работ в условиях повышенной опасности производится по предложенному и обоснованному набору показателей n , относительно которых по 5-балльной шкале оцениваются коэффициенты компетентности K_k и информированности K_i , соответственно.

Как показывают результаты анализа статистических данных по несчастным случаям в ОАО «Челябинскуголь», ОАО «Комбинат «Магнезит» и ОАО «Воркутауголь»



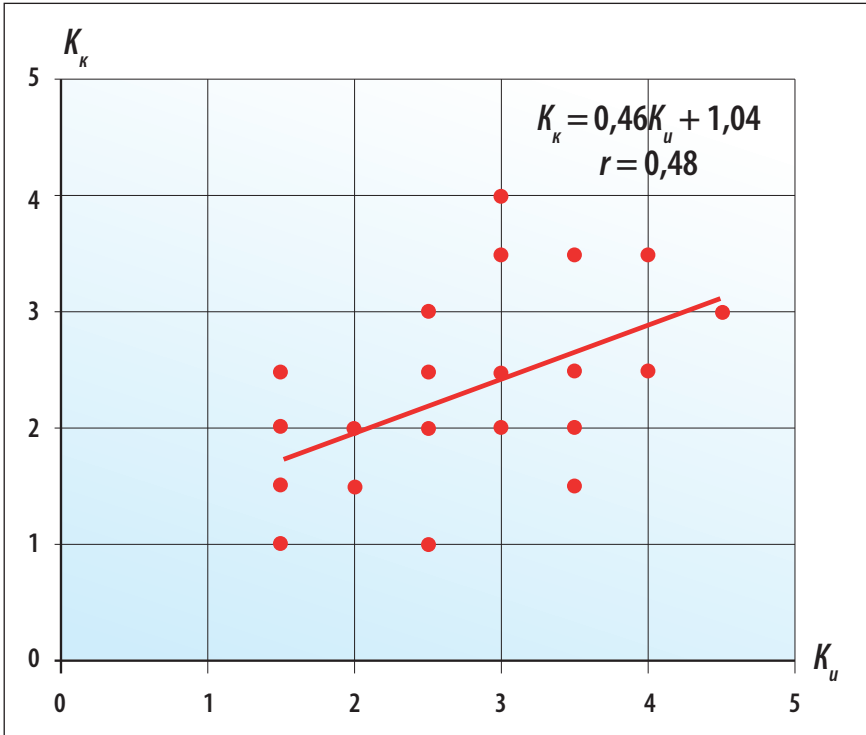


Рис. 1. Корреляционная зависимость между информированностью и компетентностью пострадавших и их руководителей, выявленная на основе анализа форм Н-1

за пять лет исследований, высокий уровень травматизма объясняется, как правило, недостаточной компетентностью и информированностью пострадавших и их руководителей. Корреляционная зависимость между средними величинами информированности и компетентности пострадавших и их руководителей приведена на рис. 1.

Коэффициент корреляции $r=0,48$ говорит о том, что коэффициенты компетентности и информированности отражают разные причины травматизма и поэтому оба должны использоваться при построении модели травматизма. Это является основанием для использования их в качестве независимых переменных в математической модели травматизма. Парные зависимости аварийности и травматизма от информированности и компетентности пострадавших и их руководителей приведены на рис. 2. В результате построена следующая математическая модель:

$$TR = TR_0 K_k^{-\alpha} K_u^{-\beta} \quad (1)$$

где α, β — некоторые константы, причем, $\alpha > 0, \beta > 0$.

Модель (1) является нелинейной. Эта нелинейность характеризуется тем, что вблизи больших значений коэффициентов K_k и K_u уровень травматизма TR стабилизируется, в то время как при ма-

лых и средних значениях меняется гораздо быстрее. По каждому фактору взаимосвязь имеет отрицательный монотонный характер.

Регрессионная зависимость среднего травматизма TR_n относительно компетентности $K_{к.п}$ и информированности $K_{и.п}$ пострадавшего имеет вид:

$$TR_n = 27,10 K_{к.п}^{-0,59} K_{и.п}^{-1,01} \quad (2)$$

Анализ модели (2) показал следующее:

- коэффициент множественной корреляции $R=0,872$;
- коэффициент детерминации $R^2=0,760$;
- расчетное значение F -статистики $F_{расч}=20,588$;
- случайные ошибки удовлетворяют условиям теоремы Гаусса — Маркова, т.е. модель адекватна.

Регрессионная зависимость средних показателей травматизма TR_p относительно компетентности $K_{к.р}$ и информированности $K_{и.р}$ руководителя

$$TR_p = 29,13 K_{к.р}^{-0,61} K_{и.р}^{-0,95} \quad (3)$$

Анализ модели (3) показал следующее:

- коэффициент множественной корреляции $R=0,893$;
- коэффициент детерминации $R^2=0,798$;
- расчетное значение F -статистики $F_{расч}=25,667$;

- случайные ошибки удовлетворяют условиям теоремы Гаусса — Маркова, т.е. модель адекватна.

В качестве иллюстрации на рис. 3 приведен график модели регрессионной зависимости средних показателей травматизма TR_n относительно компетентности $K_{к.п}$ и информированности $K_{и.п}$ пострадавшего.

Используя полученные модели, можно прогнозировать ожидаемый уровень травматизма при существующих показателях информированности и компетентности персонала и, наоборот, исходя из требуемого минимального уровня травматизма, улучшать показатели информированности и компетентности работников горного предприятия.

Количество аварий на автомобильном транспорте карьеров является случайной величиной, зависящей от следующих основных факторов: глубины карьера и расстояния транспортирования горной массы; интенсивности и скорости движения, состава транспортного потока, квалификации водителей, продольных уклонов, количества поворотов и перекрестков, ширины автодорог, радиусов горизонтальных и вертикальных кривых, видимости в плане и профиле, типа и состояния дорожного покрытия. Необходимо создание такой стохастической модели, с помощью которой можно прогнозировать число аварий на карьерах и оказывать влияние на снижение их уровня. Для этого проанализированы аварии на автомобильном транспорте, эксплуатирующемся в условиях открытых горных работ, и определены факторы, влияющие на аварийность технологического автотранспорта.

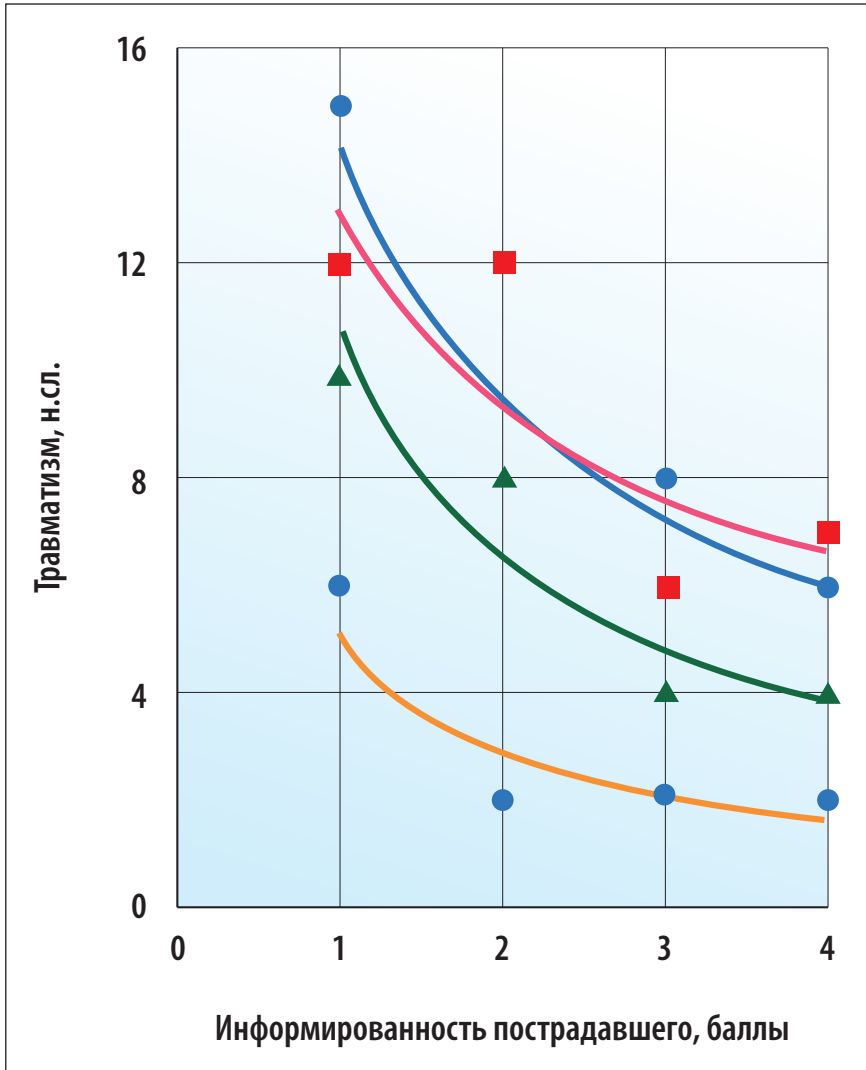
Выбор факторов для включения в модель производится по следующим критериям:

- величине коэффициента парной корреляции $r_{jаХi}$;
- величине коэффициентов частной корреляции $r_{jаХi}(X_1, X_2, \dots, X_n)$;
- величине коэффициента множественной корреляции $R_{jа}(X_1 \dots X_n)$;
- отсутствию явления взаимокоррелируемости (коллинеарности) между факторами.

С учетом отобранных факторов строятся модели, имеющие общий вид

$$J_a = a_0 + a_1 x_1 + a^2 x^2 + \dots + a_n x_n \quad (4)$$

Параметры a_0, a_1, \dots, a_n в моделях находятся по методу наименьших квадратов, а затем модель проверяется на адекватность. В результате в модель аварийности включены следующие факторы: интенсивность движения (N), коэффициент квалификации водителей ($K_{кв}$), коэффициент дорожных условий ($K_{дл}$) и коэффициент технического состояния автосамосвалов ($K_{мс}$). Индекс аварийности на автотранспорте определяется как средневзвешенная величина по рассматриваемым карьерам.



$K_{к.п}$	TR	Коэффициент детерминации	F-статистика
1	24,355ИП ^{-0,8429}	0,9739	74,6283525
2	23,928ИП ^{-1,3864}	0,7284	5,36377025
3	12,461ИП ^{-1,0046}	0,6239	3,31773465
4	11,285ИП ^{-0,8225}	0,8671	13,048909

Рис. 2. Зависимость уровня травматизма от степени информированности пострадавшего при различных значениях его компетентности $K_{к.п}$, баллы

$$J_a = \frac{A_1 n_1 + A_2 n_2 + A_3 n_3}{\sum_{i=1}^3 n_i} 100\%, \quad (5)$$

где A_1, A_2, A_3 — годовое количество аварий, соответственно, на рассматриваемых горных предприятиях;

n_1, n_2, n_3 — списочное количество автосамосвалов на указанных карьерах;

n_p — общее количество автосамосвалов на одном карьере.

Средняя интенсивность движения автосамосвалов (N , авт/ч) рассчитывается по формуле

$$N = \frac{N_j Q q_j}{Q q} \quad (6)$$

где N_j — средняя интенсивность движения автосамосвалов в j -й год, авт/ч;

Q — объем перевозок горной массы автотранспортом за рассматриваемой год, т;

q_j — средняя грузоподъемность автосамосвалов на j -й год, т;

Q_j — объем перевозок горной массы автотранспортом за j -й год, т;

q — средняя грузоподъемность автосамосвалов на рассматриваемый год, т.

Коэффициент квалификации водителей является средневзвешенной величиной

$$K_{кв} = \frac{C_1 + 2C_2 + 3C_3}{\sum_{b=1}^3 n_b} \quad (7)$$

где C_1, C_2, C_3 — количество водителей с квалификацией, соответственно, 1-го, 2-го и 3-го класса, чел.;

n_b — общее количество водителей на одном карьере, чел.

Коэффициент влияния дорожных условий на безаварийность движения автотранспорта рассчитывается по формуле

$$K_{дв} = \frac{p i}{\sum_{s=1}^Z \frac{R_s}{\alpha_s}} \quad (8)$$

где p — количество пересечений карьерных автодорог на одном уровне;

i — средневзвешенный уклон автодорог, %;

Z — общее количество поворотов на внутрикарьерных дорогах рассматриваемых карьеров;

R_s — радиус s -го поворота, м;

α_s — угол s -го поворота, град.

Коэффициент влияния технического состояния автосамосвалов определяется по следующей формуле:

$$K_{мс} = \frac{\sum_{\tau=1}^5 d_{\tau} f_{\tau}}{\sum_{l=1}^3 n_l}$$

где d_{τ} — количество автомобилей в τ -й возрастной группе;

f_{τ} — коэффициент отказов τ -й возрастной группы.

Парк технологических автосамосвалов рассматриваемых карьеров разбивается на пять возрастных групп, характеризующихся примерно одинаковыми коэффициентами отказов (табл. 1).

Для построения модели на первом этапе рассмотрена линейная зависимость вида

$$J_a = a_0 + a_1 + a_2 K_{кв} + a_3 K_{дв} + a_4 K_{тс}. \quad (10)$$

Коэффициенты регрессии определяются решением соответствующих нормальных уравнений:

$$a_0 = 1,542 \quad a_1 = 0,138$$

$$a_2 = 0,07 \quad a_3 = 1,725$$

$$a_4 = 0,602$$

Статистические характеристики модели:

а) парные коэффициенты корреляции:

$$r_{J_A N} = 0,74 \quad r_{J_A K} = 0,92$$

$$r_{J_A K_{ДУ}} = 0,91 \quad r_{J_A K_{КВ}} = 0,63$$

б) частные коэффициенты корреляции:

$$r_{J_A N}(K_{КВ}, K_{ДУ}, K_{ТС}) = 0,724$$

$$r_{J_A K}(N, K_{КВ}, K_{ТС}) = 0,43$$

$$r_{J_A K_{ДУ}}(N, K_{КВ}, K_{ТС}) = 0,63$$

$$r_{J_A K_{КВ}}(N, K_{ДУ}, K_{ТС}) = 0,324$$

в) коэффициенты множественной корреляции и детерминации, соответственно, равны: $R = 0,88$ и $R^2 = 0,77$.

Коэффициент множественной детерминации показывает, что 77% вариации функции определяется вариацией ее аргументов, т. е. связь функции J_A с аргументом достаточно тесная.

$$J_A = 1,542 + 0,138N + 0,072K_{КВ} + 1,725K_{ДУ} + 0,602K_{ТС}$$

Проверка полученного уравнения на значимость производится по критерию Фишера (F). Сравнение полученного значения $F = 16,18$ с табличным $F_0 = F_{0,95}(3,4) = 4,35$ свидетельствует о наличии связи с аргументами.

Коэффициент регрессии при i -м неизвестном в модели (11) показывает, на сколько единиц в среднем изменится функция J_A , если величина i -го фактора изменится на единицу, при условии, что все остальные аргументы будут оставаться постоянными. Так, возрастание интенсивности движения на 10 авт/ч приводит к увеличению J_A на 1,38.

Однако анализ коэффициентов регрессии не позволяет в достаточной степени

определить влияние различных факторов на величину функции J_A . Для более достоверной оценки влияния факторов на J_A необходимо учесть различие в числовом выражении факторов и в уровнях их колеблемости. С целью устранения различия в единицах измерения вычисляются частные коэффициенты эластичности

$$\varepsilon_f = \frac{a_f \bar{x}_f}{\bar{y}}$$

где a_f — коэффициент регрессии f -го фактора;

\bar{x}_f — среднее значение f -го фактора;

\bar{y} — среднее значение исследуемой функции.

Частные коэффициенты эластичности показывают, на сколько процентов в среднем изменяется функция с изменением f -го аргумента на 1% при фиксированном значении остальных аргументов: $\varepsilon_N = 0,82$; $\varepsilon_{K_{ДУ}} = 0,34$; $\varepsilon_{K_{КВ}} = 0,14$; $\varepsilon_{K_{ТС}} = 0,04$. Это означает, что наибольшее влияние на уровень аварийности оказывает интенсивность движения и дорожные условия в карьере.

Разработанную модель можно использовать для прогноза аварийности и оценки эффективности внедрения рекомендации по снижению интенсивности движения путей более рационального распределения грузопотоков и внедрения автосамосвалов большой грузоподъемности, повышению квалификации водителей, уменьшению степени опасности поворотов и перекрестков, реконструкции участков автодорог с повышенными продольными уклонами и вывода из эксплуатации автомобилей со сверхнормативным пробегом.

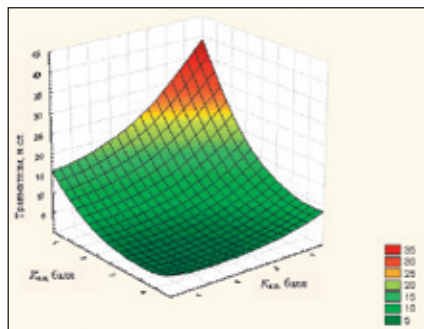


Рис. 3. Зависимость уровня травматизма от компетентности и информированности пострадавшего

Таблица 1. Зависимость коэффициентов отказов от пробега автосамосвалов

Пробег автосамосвалов, тыс. км	0–50	50–100	100–150	150–200	200 и более
Коэффициент отказов	0,8	1,2	1,3	1,5	2,4