

УДК 621.3:622:519.24

А. Г. МНУХИН, А. М. БРЮХАНОВ, доктора техн. наук
(МакНИИ)

С. Я. МАХНО, доктор физ.-мат. наук
(Институт прикладной математики и механики НАН Украины)

Б. Б. КОБЫЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук
(УНППИ Украинской инженерно-педагогической академии)

Н. А. МНУХИНА, канд. техн. наук
(Запорожская государственная инженерная академия)

А. И. ТАТАРИНЦЕВ, инж.
(Фонд соцстрахования от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний)

Прогноз уровня травматизма на угольных предприятиях Украины

На основании данных о социальном страховании работников угольной отрасли промышленного района города с применением методов классической статистики высокого уровня сделаны выводы о дальнейшем пути развития страхования травматизма, исходя из общих затрат на ликвидацию последствий этого негативного явления.

Ключевые слова: прогноз травматизма, социальное страхование.

Контактная информация: anatoly.mnukhin@gmail.com

Один из основных способов оценки техногенного риска на предприятиях повышенной опасности, в частности угольных, – исследование уровня возможного травматизма. Чтобы проанализировать причины травматизма и профзаболеваний работников угольной промышленности, авторы использовали данные Фонда социального страхования от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний Горняцкого района г. Макеевки и статистические данные шахтоуправления им. В. И. Ленина, шахт «Холодная Балка», «Глубокая» и ЧПП «Горняк-95» ГП «Макеевуголь» (табл. 1).

Определим динамику травматизма и профзаболеваний на угольных предприятиях наибольшего по численности населения Горняцкого района г. Макеевки, расположенного на юге города. Для этого из общих данных исключим влияние общерайонной статистики профзаболеваний и травм, а также

динамику травматизма и профзаболеваний, не связанных с деятельностью предприятий отрасли. При этом не будем исключать демографические и эпидемиологические факторы и скорректируем динамику увеличения травматизма и профзаболеваний на угольных предприятиях района.

Показатели травматизма по четырем шахтам с 2001 по 2011 г. приведены в табл. 1.

В большинстве случаев в качестве прогнозной функции для такого типа исходных данных используют экспоненциальную зависимость [1]

$$x(t) = ae^{bt}, \quad (1)$$

где $x(t)$ – показатель травматизма за время t от первого года предшествующего десятилетия;

a, b – постоянные коэффициенты;

t – время, прошедшее от первого года предшествующего десятилетия, лет;

e – основание натуральных логарифмов.

Таблица 1

Предприятие	Количество случаев травматизма по годам											Среднее значение
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Шахтоуправление им. В. И. Ленина	61	64	83	81	47	36	43	42	43	45	70	56,0
Шахта «Холодная Балка»	70	87	88	78	58	49	49	47	64	67	60	65,0
ЧПП «Горняк-95»	7	4	23	13	10	18	10	15	14	17	26	14,0
Шахта «Глубокая»	224	219	162	107	75	46	7	0	0	0	0	79,4

Коэффициенты a и b определяют по следующим зависимостям:

$$b = \left(n \sum_{i=1}^n t_i \lg x_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n \lg x_i \right) / \left\{ \lg e \left[n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 \right] \right\}; \quad (2)$$

$$\lg a = \left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n \lg x_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n \lg x_i \right) / \left[n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 \right], \quad (3)$$

где x_i – показатель травматизма за i -й год;
 t_i – время, прошедшее от первого года предшествующего десятилетия до i -го;
 n – количество наблюдений.

Ошибку прогнозных значений показателя травматизма рассчитаем по формуле [2]

$$m = \pm (\sigma / \sqrt{n-1}) \sqrt{1 - [n(t_j - k)^2 / \sum (t_i - k)^2]}, \quad (4)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение,

$$\sigma = \sqrt{[1/(n-1)] \left[\sum (\lg x_i)^2 - (1/n) (\sum \lg x_i)^2 \right]}, \quad (5)$$

t_i и t_j – время, прошедшее от первого года предшествующего десятилетия до i -го года этого десятилетия и до j -го прогнозируемого года;

$$k = (1/n) \sum_{i=1}^n t_i. \quad (6)$$

Прогнозные значения показателя травматизма рассчитывают так:

$$x(T) = a e^{bT} + m, \quad (7)$$

где T – время, прошедшее от первого года предшествующего десятилетия до прогнозируемого года.

Если фактические значения показателя травматизма в году, для которого сделан прогноз, находятся в пределах, рассчитанных по формуле (3) или

меньше, то это свидетельствует, что травматизм остался на том же уровне или уменьшился, если они больше расчетных, то указывают на фактический рост травматизма.

Для шахтоуправления им. В. И. Ленина по формулам (2) и (3) рассчитаны постоянные коэффициенты a и b . Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

В результате

$$b = \frac{(10 \cdot 92,141 - 55 \cdot 17,191)}{0,4343 [10 \cdot 385 - 55^2]} = -0,0672;$$

$$\lg a = \frac{385 \cdot 17,191 - 55 \cdot 92,141}{10 \cdot 385 - (55)^2} = 1,8797,$$

$$a = 76,$$

тогда зависимость (1) принимает вид

$$x(t) = 76 e^{-0,0672(t-2001)}.$$

Прогнозный показатель «общее количество травмированных» в 2011 г. будет

$$x(2011 \text{ г.}) = 76 e^{-0,0672 \cdot 10} = 39,$$

$$k = (1/10)55 = 5,5;$$

$$\sum (t_i - k)^2 = (1-5,5)^2 + (2-5,5)^2 + (3-5,5)^2 + (4-5,5)^2 + (5-5,5)^2 + (6-5,5)^2 + (7-5,5)^2 + (8-5,5)^2 + (9-5,5)^2 + (10-5,5)^2 = 85;$$

$$m = \pm (17,24 / \sqrt{10-1}) \sqrt{1 + [10(10-5,5)^2 / 85]} = \pm 11.$$

Следовательно, $x(T) = 39 \pm 11$.

Таким образом, фактически общий травматизм на шахте составил 70, что почти в 2 раза больше расчетного, т. е. указывает на рост травматизма в шахтоуправлении им. В. И. Ленина в 2011 г.

Для шахты «Холодная Балка» по формулам (2) и (3) рассчитаны постоянные коэффициенты a и b . Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.

Таблица 2

Годы	n	t_i	t_i^2	x_i	$\lg x_i$	$t_i \lg x_i$
2001	1	1	1	61	1,785	1,785
2002	2	2	4	64	1,806	3,612
2003	3	3	9	83	1,919	5,757
2004	4	4	16	81	1,908	7,634
2005	5	5	25	47	1,672	8,360
2006	6	6	36	36	1,556	9,338
2007	7	7	49	43	1,633	11,434
2008	8	8	64	42	1,623	12,986
2009	9	9	81	43	1,633	14,701
2010	10	10	100	45	1,653	16,532
Всего	10	55	385	545	17,191	92,141

Таблица 3

Годы	n	t_i	t_i^2	x_i	$\lg x_i$	$t_i \lg x_i$
2001	1	1	1	70	1,845	1,845
2002	2	2	4	87	1,940	3,879
2003	3	3	9	88	1,944	5,833
2004	4	4	16	78	1,892	7,568
2005	5	5	25	58	1,763	8,817
2006	6	6	36	49	1,690	10,141
2007	7	7	49	49	1,690	11,831
2008	8	8	64	47	1,672	13,377
2009	9	9	81	64	1,806	16,256
2010	10	10	100	67	1,826	18,261
Всего	10	55	385	657	18,069	97,809

В результате получим

$$b = \frac{10 \cdot 97,809 - 55 \cdot 18,069}{0,4343(10 \cdot 385 - 55^2)} = -0,0439;$$

$$\lg a = \frac{385 \cdot 18,069 - 55 \cdot 97,809}{10 \cdot 385 - (55)^2} = 1,9118;$$

$$a = 82,$$

тогда зависимость (1) принимает вид

$$x(t) = 82e^{-0,0439(t-2001)}.$$

Прогнозный показатель «общее количество травмированных» в 2011 г.

$$x(2011 \text{ г.}) = 82e^{-0,0439 \cdot 10} = 53,$$

$$k = (1/10)55 = 5,5;$$

$$\begin{aligned} \sum (t_i - k)^2 &= (1-5,5)^2 + (2-5,5)^2 + (3-5,5)^2 + (4-5,5)^2 + \\ &+ (5-5,5)^2 + (6-5,5)^2 + (7-5,5)^2 + (8-5,5)^2 + (9-5,5)^2 + \\ &+ (10-5,5)^2 = 85; \end{aligned}$$

$$m = \pm \left(20,78 / \sqrt{10-1} \right) \sqrt{1 + \left[10(10-5,5)^2 / 85 \right]} = \pm 13,$$

следовательно, $x(T) = 53 \pm 13$.

Фактическое значение общего травматизма на шахте составило 60. Так как прогнозное значение показателя общего травматизма изменяется от 40 до 66, то можно утверждать, что травматизм на шахте «Холодная Балка» в 2011 г. остается на том же уровне.

Для ЧПП «Горняк-95» по формулам (2) и (3) рассчитаны постоянные коэффициенты a и b . Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.

В результате получили

$$b = \frac{10 \cdot 62,150 - 55 \cdot 10,731}{0,4343(10 \cdot 385 - 55^2)} = 0,0874;$$

$$\lg a = \frac{385 \cdot 10,731 - 55 \cdot 62,150}{10 \cdot 385 - (55)^2} = 0,8643,$$

тогда зависимость (1) принимает вид

$$x(t) = 7e^{-0,0874(t-2001)}.$$

Прогнозное значение показателя «общее количество травмированных» в 2011 г. будет равно

$$x(2011 \text{ г.}) = 7e^{-0,0874 \cdot 10} = 17,$$

$$k = (1/10)55 = 5,5,$$

Таблица 4

Годы	n	t_i	t_i^2	x_i	$\lg x_i$	$t_i \lg x_i$
2001	1	1	1	7	0,845	0,845
2002	2	2	4	4	0,602	1,204
2003	3	3	9	23	1,362	4,085
2004	4	4	16	13	1,114	4,456
2005	5	5	25	10	1,000	5,000
2006	6	6	36	18	1,255	7,532
2007	7	7	49	10	1,000	7,000
2008	8	8	64	15	1,176	9,409
2009	9	9	81	14	1,146	10,315
2010	10	10	100	17	1,230	12,304
Всего	10	55	385	131	10,731	62,150

Зависимость	Регрессионная зависимость ($y = ax_1 + b_1; \bar{y} = ax_1 + b_2;$ $y = ax_1 + b_3$ $y = ax_1 + a_2x_2 + b$) и рис. 1	Кoeffициент корреляции r	x_{1min}/x_{1max}	Доверительный интервал для		
				a_1	a_2	b
1	2	3	4	5	6	7
Добычи угля u от численности x_1 рабочих и уровня x_2 травматизма (рис. 1, а)	$y = 1,4x_1 - 28,42x_2 - 2989,75;$ $\bar{y} = 1,29x_1 - 2694,61;$ $\underline{y} = 1,29x_1 - 3997,49;$ $\bar{y} = 1,29x_1 - 3346,05;$	0,96 0,87	5071/7832	1,05; 1,75 0,73; 1,84	-44,7; -12,14	-5159,33; -820,18 -6821,17; 129,07
Выплат пострадавшим u от численности травмированных x : шахта «Холодная Балка» (рис. 1, б)	$y = -85,12x + 12240,78;$ $\underline{y} = -85,12x + 12240,78 -$ $- 8988,14\sqrt{0,00065(x-62,5)^2+0,125};$ $\bar{y} = -85,12x + 12240,78 +$ $+ 8988,14\sqrt{0,00065(x-62,5)^2+0,125};$	0,47	47/88	-243,02; 72,79		2131,78 22349,78
ЧПП «Горняк-95» (рис. 1, в)	$y = -14,57x + 752,44;$ $\underline{y} = -14,57x + 752,44 -$ $- 1301,61\sqrt{0,00065(x-15)^2+0,125};$ $\bar{y} = -14,57x + 752,44 +$ $+ 1301,61\sqrt{0,00065(x-15)^2+0,125};$	0,16	10/23	-102,02; 72,88		-606,54; 2111,41
ОП «Шахтоуправление им. В. И. Ленина» (рис. 1, з)	$y = -63,82x + 7490,64;$ $\underline{y} = -63,82x + 7490,64 -$ $- 5863,92\sqrt{0,00065(x-52,38)^2+0,125};$ $\bar{y} = -63,82x + 7490,64 +$ $+ 5863,92\sqrt{0,00065(x-52,38)^2+0,125};$	0,68	35/83	-131,75; 4,11		3741,27; 11240,04

1	2	3	4	5	6	7
Выплат пострадавшим у от численности травмированных х (сводные данные) (рис. 1, д, е)	$y = 67,78x + 933,49;$ $y = 67,78x - 508,23;$ $\bar{y} = 67,78x + 2375,2;$ $y = -3,49x^2 + 390x - 4420,27$ <div style="text-align: center;"> </div>	0,52 0,81		19,1; 116,46 249; 531	-4,97; -2	-1482,02; 3349 -7255; -1585
Выплат на одного пострадавшего у от времени х: шахта «Холодная Балка» (рис. 1, ж)	$y = 19,77x - 3955,19$ <div style="text-align: center;"> </div>	0,87		8,54; 31		-62085,5; -1722,89
ЧПП «Горняк-95» (рис. 1, з)	$y = 9,82x - 19670,94$ <div style="text-align: center;"> </div>	0,88		4,4; 15,24		-30546,9; -8794
ОП «Шахтоуправление им. В. И. Ленина» (рис. 1, и)	$y = 19,13x - 38295,3$ <div style="text-align: center;"> </div>	0,97		14,58; 23,67		-47410; -29180,56
Выплат на одного пострадавшего от времени (сводные данные) (рис. 1, к)	$y = 18,19x - 36409,23$ <div style="text-align: center;"> </div>	0,94		11,4; 25		-50057,19; -22761,27

Примечания: 1. В таблице \bar{y} и \underline{y} соответственно огибающие сверху и снизу для прямой регрессии. 2. Отношение минимального к максимальному уровню травматизма x_{2min}/x_{2max} составляет 13/79 для рис. 1, а.

$$\sum(t_i - k)^2 = (1-5,5)^2 + (2-5,5)^2 + (3-5,5)^2 + (4-5,5)^2 + (5-5,5)^2 + (6-5,5)^2 + (7-5,5)^2 + (8-5,5)^2 + (9-5,5)^2 + (10-5,5)^2 = 85;$$

$$m = \pm(4,14/\sqrt{10-1})\sqrt{1 + [10(10-5,5)^2/85]} = \pm 3,$$

следовательно, $x(T) = 17 \pm 3$.

Фактическое значение общего травматизма на шахте составило 26. Так как прогнозное значение показателя общего травматизма изменяется от 14 до 20, то можно утверждать, что травматизм на ЧПП «Горняк-95» в 2011 г. увеличился. С учетом прогноза возможного травматизма на шахтах целесообразно планировать выплаты пострадавшим в будущем году.

Используя методы параметрической и непараметрической статистики, и в частности корреляционного и регрессионного анализа, можно вывести и проанализировать ряд зависимостей, позволяющих впоследствии на их основе всесторонне оценить процесс промышленного травматизма на объекте и наметить оптимальные пути снижения расходов на выплаты.

В качестве анализируемых факторов в расчетах принимались: добыча угля, т/сут; численность трудящихся, чел.; количество травмированных, чел.; выплаты пострадавшим, грн.

Полученные уравнения и критерии их статистической оценки приведены в табл. 5 и на рис. 1, из анализа которых следует, что большинство зависимостей разных факторов от времени имеют линейный или квадратичный характер, но с различными тенденциями как к возрастанию, так и к снижению от времени. Все представленные зависимости имеют, как правило, достаточно высокие значения коэффициентов парной или множественной корреляции и детерминации, а также соответственно узкие значения доверительных интервалов, определенных при 95 %-ном уровне значимости.

Графическую интерпретацию полученных уравнений показано на рис. 1, а, из которого следует, что уровень травматизма имеет устойчивую тенденцию к увеличению с ростом добычи угля (возрастанием интенсивности работ).

Зависимости выплат пострадавшим от количества травмированных на шахтах (рис. 1, б, в, г) можно интерпретировать как линейные с устойчивой тенденцией к уменьшению с увеличением количества пострадавших, т. е. при устойчивом налаженном производственном процессе превалирует легкий, не смертельный травматизм, ликвидация последствий которого не требует больших затрат.

Зависимость выплат пострадавшим от количества травмированных можно рассматривать как линейную (рис. 1, д) или нелинейную (рис. 1, е), однако, если зависимость нелинейная, для ее дальнейшего исследования применяют методы непараметрической статистики [4].

Отметим, что в случае травмирования 50 человек в конкретном регионе выплаты пострадавшим максимальные.

Зависимость выплат на одного пострадавшего от года (времени) по всем трем шахтам, т. е. динамика выплат по разным предприятиям (рис. 1, ж, з, и), и сводные данные (рис. 1, к) имеют линейный характер с устойчивой тенденцией к увеличению. Указанные регрессионные зависимости, включая и кривые, определяющие доверительные интервалы, показаны на рис. 1, б, в, г, ж-к.

Таким образом, хотя представленный характер описываемых кривых рис. 1, ж-к можно трактовать исходя из динамики цен в Украине, тем не менее очевидно, что при весьма близких последствиях травматизма на шахте «Холодная Балка» и в шахтоуправлении им. В. И. Ленина новое частное предприятие «Горняк-95» значительно (по крайней мере в 2 раза) отличается в лучшую сторону по тяжести и последствиям травматизма.

Следовательно, с интенсивностью работ увеличивается уровень травматизма, а также количество выплат пострадавшим. Однако в зависимости от конкретного предприятия, даже при весьма идентичных горно-геологических условиях, затраты на социальное страхование одного трудящегося (средняя фактическая тяжесть травматизма) может отличаться в 2 раза и более. Дальнейшее нарастание интенсивности производства требует подготовки как персонала в части обучения его безопасным методам работы, так и введения новой техники с повышенным уровнем безопасности. В этом случае динамика роста на социальное страхование будет иметь твердую тенденцию к постоянному снижению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Наука, 1966. – 588 с.
2. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 959 с.
3. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия: пер. с англ. Ю. Н. Благовещенского; под ред. Ю. П. Адлера/ Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки. – М.: Финансы и статистика, 1982. – Вып. 1. – 317 с.
4. Холлендер М. Непараметрические методы статистики / М. Холлендер, Д. Вульф. – М.: Мир, 1983. – 518 с.