

В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

С.Е. ГАРДЕР., канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

В.В.МАКАРЕНКО, НТУ «ХПИ»

РАДВАН АРАФА БИССИУНИ, стажер, Египет

АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТРАВМ НА ТРУБОПРОКАТНОМ УЧАСТКЕ

У статті наведено аналіз травм за важкістю на протязі 2004-2007 років. Використовуючи метод найменших квадратів, було виконано апроксимацію результатів досліджень. Далі було розроблено математичну модель процесу, що досліджується отримані регресійні залежності, визначено коефіцієнти кореляції та найбільш значущі фактори за впливом щодо травмування робітників.

In the article the analysis of traumas is resulted after weight during 2004-2007 years. Using the method of small squares, was executed approximation of results of researches. Farther was developed mathematical model of process that is explored got regressive to dependence the coefficients of correlation and most meaningful factors are definite after influencing in relation to injuring of working.

В 2004 – 2007 годах на одном из предприятий Египта, были выполнены исследования по влиянию факторов рабочей зоны на травматизм. Основным заданием было определить факторы, которые оказывают наиболее неблагоприятное воздействие на рабочих в сложных производственных условиях при ограничении действия нормативных актов.

1. Аппроксимация зависимости данных по видам травм от времени.

Исходные данные по действующим факторам представлены по месяцам с августа 2006 по июль 2007 гг., в то же время регистрация травм дана по кварталам 2004-2007гг.

Предлагается ввести следующие предположения:

1. При неизменных внешних условиях (наличии травмирующих факторов) количество травм каждого вида в год в среднем (из года в год) неизменно.
2. При неизменных внешних условиях (наличии травмирующих факторов) количество травм каждого вида в квартал в среднем (из квартала в квартал) неизменно.

Введенные предположения позволяют аппроксимировать данные по травмам по месяцам. В таблице представлены имеющиеся исходные данные по различным травмам.

Таблица 1

Исходные данные по различным травмам

год	квартал	Незначительная травма	Слабая травма	Травма	Тяжелая травма	Инвалидность	Летальная травма
2004	I	4	4	0	2	0	0
	II	4	2	2	0	0	0
	III	5	6	0	1	1	0
	IV	4	2	3	0	0	0
2005	I	4	2	3	1	0	0
	II	3	1	5	0	0	0
	III	2	3	1	2	1	0
	IV	5	2	2	1	0	1
2006	I	4	7	2	1	0	0
	II	5	3	1	2	0	0
	III	6	5	3	3	0	0
	IV	3	6	1	2	0	0
2007	I	4	4	2	0	0	0
	II	5	7	2	2	0	0
	III	5	8	3	3	2	0
	IV	2	3	2	1	0	0

1). Усредним данные по травмам за 2004-2007гг. Результаты усреднения представлены в таблице 2

Таблица 2

квартал	Незначительная травма	Слабая травма	Травма	Тяжелая травма	Дефицит	Летальная травма
I	4	4,25	1,75	1	0	0
II	4,25	3,25	2,5	1	0	0
III	4,5	5,5	1,75	2,25	1	0
IV	3,5	3,25	2,25	0	0	0,25

2). При помощи метода наименьших квадратов найдем зависимость количества травм каждого вида от времени в виде многочлена второго порядка:

$$tri = \theta_0 + \theta_1 t + \theta_2 t^2 \quad (1).$$

Введем в рассмотрение матрицы:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2^2 \\ 1 & 5 & 5^2 \\ 1 & 8 & 8^2 \\ 1 & 11 & 11^2 \end{pmatrix};$$

Во втором столбце этой матрицы номера месяцев, соответствующих серединам кварталов года. В третьем столбце – квадраты элементов второго столбца

$$tri = \begin{pmatrix} tr_1 \\ tr_2 \\ tr_3 \\ tr_4 \end{pmatrix};$$

Это матрицы среднего количества травм в i -том квартале. Эти матрицы – столбцы таблицы 2

$$\Theta = \begin{pmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix};$$

матрица коэффициентов уравнения (1), подлежащих определению.

Оценки (значения) коэффициентов регрессии $\theta_0, \theta_1, \theta_2$ находятся методом наименьших квадратов по следующим формулам:

$$\Theta = (T^T \cdot T)^{-1} \cdot T^T \cdot tri,$$

где $\Theta^T = (\theta_0, \theta_1, \theta_2)$

Верхний индекс T обозначает операцию транспонирования, «шапочки» над θ обозначают найденные (оцененные) значения коэффициентов.

В результате получены регрессионные зависимости, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Регрессионные зависимости по видам травм

	Вид травмы	Уравнение
01	Незначительная	$tr1 = 5,193 - 0,46 \cdot t + 0,035 \cdot t^2$
02	Слабая	$tr2 = 6,385 - 0,643 \cdot t + 0,035 \cdot t^2$
03	Травма	$tr3 = 1,899 - 0,032 \cdot t - 0,0069 \cdot t^2$
04	Тяжелая	$tr4 = 3,201 - 0,576 \cdot t - 0,035 \cdot t^2$
05	Инвалидность	$tr5 = 1,761 - 0,461 \cdot t - 0,028 \cdot t^2$
06	Летальная	$tr6 = -0,099 - 0,082 \cdot t - 0,0069 \cdot t^2$

3) По уравнениям таблицы 3 найдем аппроксимированные значения количества травм по месяцам, изменяя t в уравнении (1) от 1 до 12. Эти значения используются в дальнейшем при построении математической модели зависимости числа травм от действующих факторов.

Результаты вычислений представлены графически и в табличном виде:

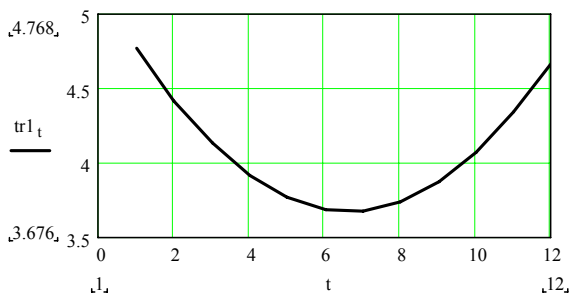


Рис.1 Незначительная травма

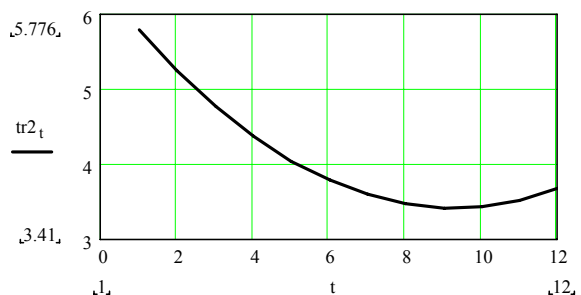


Рис.2. Слабая травма

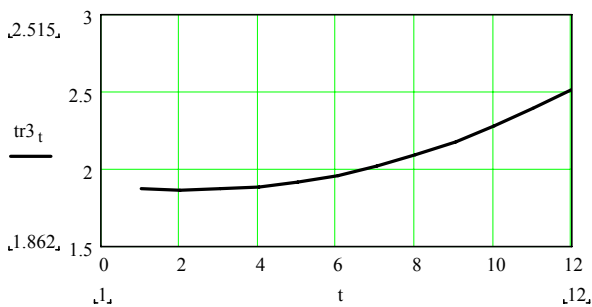


Рис.3. Травма

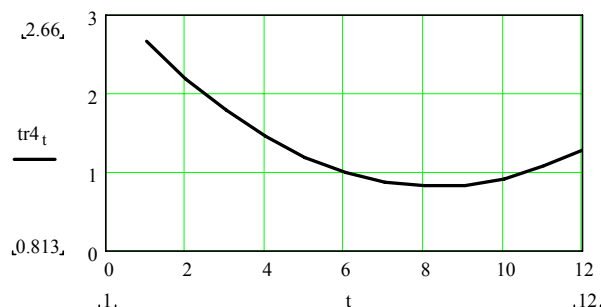


Рис.4. Тяжелая травма

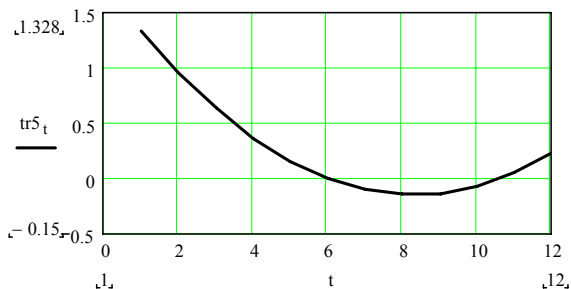


Рис.5. Инвалидность

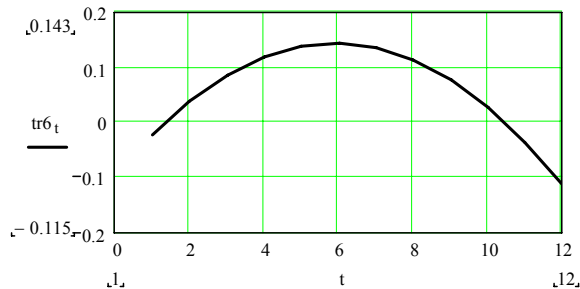


Рис. 6. Летальная травма

2. Математическая модель зависимости числа травм от действующих факторов.

2.1 Анализ исходных данных

Исходными данными для построения искомой зависимости являются действующие травмирующие факторы, значения которых, измеренные по месяцам с августа 2006 по июль 2007 гг..

По данным факторам можно построить четыре возможных зависимости числа травм для четырех имеющихся наборов данных:

Число факторов чрезмерно велико для надежного построения математических моделей. Среди факторов могут оказаться линейно зависимые (коллинеарные). С целью возможного уменьшения их количества и исключения коллинеарности подсчитаем факторные корреляционные матрицы для каждого набора данных.

Если обозначить матрицу исходных данных (содержимое каждой из таблиц 4-7) через X , то расчет корреляционных матриц проводится по следующей формуле:

$$r_{i,j} = \frac{K_{i,j}}{\sigma_i \sigma_j (n-1)} = \frac{(X_{i,j} - M(X^{(j)}))^T (X_{i,j} - M(X^{(i)}))}{(n-1) \cdot \sigma(X^{(i)}) \cdot \sigma(X^{(j)})},$$

где $X^{(*)}$ - соответствующий столбец матрицы данных; $\sigma(X^{(*)})$ - среднеквадратическое отклонение элементов столбца; $n = 12$ - число элементов столбца.

Рассчитаны корреляционные матрицы. Число строк и столбцов этих матриц равно числу действующих факторов (соответствует таблицам 4-7). Матрицы – симметричные. На пересечении строк и столбцов расположены коэффициенты корреляции соответствующих факторов. Например, на пересечении первого столбца и третьей строки расположен коэффициент корреляции температуры и влажности, а на пересечении третьего столбца и первой строки - коэффициент корреляции влажности и температуры. Эти коэффициенты равны.

Анализ взаимных корреляций показывает сильную корреляцию между целой группой факторов и позволяет сделать вывод о возможности исключения следующих коррелированных факторов из математической модели.

- WBGT – температурное напряжение;
- Ионизацию воздуха;
- Инфракрасное излучение;

- Электромагнитное излучение;
- Электромагнитное поле;
- Статическое электричество.

После исключения данных факторов из рассмотрения, с целью выделить наиболее значимые факторы, приводящие к травмам рассмотрим корреляции между факторами и количеством травм. Последние шесть строк и шесть столбцов содержат коэффициенты корреляции между видом травмы и соответствующим фактором. Анализ этих матриц позволяет оставить в математической модели лишь те факторы, которые существенно коррелируют с частотами травмы. В таблицах 8-11 знаком «+» обозначены факторы, включаемые в математическую модель по каждому виду травмы.

Таблица 8.

Травмирующие факторы на рабочем месте на 11 часов

Вид травмы	Температура град С	Ионизация воздуха +I/ml	Ультрафиолетовое излучение mW/mm ²	Содержание CO ₂ ppm	Содержание SO ₂ ppm
	Φ ₁	Φ ₈	Φ ₁₀	Φ ₁₁	Φ ₁₂
01	+	+	+	-	+
02	-	-	+	+	+
03	-	+	-	+	-
04	-	-	+	+	+
05	-	+	+	-	+
06	+	-	+	+	+

Таблица 9.

Травмирующие факторы на рабочем месте на 16 часов

Температура град С	Скорость движ. воздуха м/сек	Освещение	Вибрации м/сек. Кв.	Ионизация воздуха +I/ml	Ультрафиолетовое излучение mW/mm ²	Содержание CO ₂ ppm	Содержание SO ₂ ppm
	Φ ₃			Φ ₄	Φ ₈	Φ ₁₀	Φ ₁₁
-	-	+	+	+	-	+	-
+	-	-	+	+	+	+	-
-	+	-	-	-	+	+	+
+	+	-	-	-	+	-	+
-	-	-	-	+	+	-	+
+	-	-	+	+	-	+	-

Из таблиц 8 – 10 исключены результаты по факторам, показатели которых не были включены в математическую модель.

Таблица 10.

Травмирующие факторы на открытом воздухе на 11 часов

Вид травмы	Температура град С	Освещение	Содержание CO ₂ ppm	Содержание SO ₂ ppm
	Φ ₁	Φ ₄	Φ ₁₁	Φ ₁₂
01	+	-	-	+
02	-	+	+	-
03	-	+	-	-
04	-	+	+	+
05	-	+	+	+
06	+	-	-	+

Таблица 11

Травмирующие факторы на открытом воздухе на 16 часов

Вид травмы	Температура град С	Освещение	Ультрафиолетовое излучение mW/mm ²	Содержание CO ₂ ppm	Содержание SO ₂ ppm
	Φ ₁	Φ ₄	Φ ₁₀	Φ ₁₁	Φ ₁₂
01	+	-	+	+	-
02	-	+	+	-	+
03	-	+	-	-	-
04	-	+	-	+	+
05	-	+	-	+	+
06	+	-	-	-	+

2.2. Построение линейных регрессионных моделей

Для каждого вида травмы строится линейная регрессионная модель со своими эффективно действующими факторами. Если ввести матрицу

$$X = (\Phi^{(1)} \quad \Phi^{(2)} \quad \dots \quad \Phi^{(m)}),$$

где $\Phi^{(i)}$ - i -тый действующий фактор(столбец таблиц от №4 до №7), m – номер действующего фактора (см. таблицу 8), то коэффициенты $\Theta^T = (\theta_0, \theta_1, \dots)$ модели определяются из формулы

$$\Theta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot tri$$

Математические модели в зависимости от внешних условий представлены в следующих таблицах;

Таблица 12

На рабочем месте на 11 часов

Вид травмы	Математическая модель
Незначительная	$tr1 = 3,698 - 0,02 \cdot \Phi_1 - 0,0014 \Phi_8 + 3,271 \cdot \Phi_{10} - 0,0001 \Phi_{12}$
Слабая	$tr2 = 4,58 + 8,83 \cdot \Phi_{10} - 0,0035 \cdot \Phi_{11} + 0,0078 \cdot \Phi_{12}$
Травма	$tr3 = 2,552 - 0,00171 \cdot \Phi_8 + 0,008 \cdot \Phi_{11}$
Тяжелая	$tr4 = 0,957 + 7,826 \cdot \Phi_1 - 0,017 \cdot \Phi_{13} - 0,004 \cdot \Phi_{18}$
Инвалидность	$tr5 = -0,296 - 0,0073 \Phi_1 + 7,494 \Phi_{10} - 0,01 \cdot \Phi_{11} - 0,0058 \Phi_{12}$
Летальная	$tr6 = 0,161 - 0,005 \cdot \Phi_1 - 0,034 \cdot \Phi_4 - 0,0048 \cdot \Phi_8$

Таблица 13

На рабочем месте на 16 часов

Вид травмы	Математическая модель
Незначительная	$tr1 = 3,549 + 0,035 \cdot \Phi_1 - 0,0002 \cdot \Phi_8 + 0,0041 \cdot \Phi_9 - 0,022 \cdot \Phi_{17}$
Слабая	$tr2 = 3,833 - 0,161 \cdot \Phi_3 + 7,762 \cdot \Phi_{10} - 0,027 \cdot \Phi_{11} + 0,015 \cdot \Phi_{12}$
Травма	$tr3 = 0,092 + 3,523 \cdot \Phi_7 + 0,00498 \cdot \Phi_{11}$
Тяжелая	$tr4 = 3,042 - 0,033 \Phi_2 - 0,243 \Phi_3 + 5,449 \Phi_{10} - 0,022 \Phi_{11} + 0,02 \cdot \Phi_{12}$
Инвалидность	$tr5 = -1,022 - 0,106 \cdot \Phi_3 + 6,408 \cdot \Phi_{10} - 0,012 \cdot \Phi_{11} + 0,013 \cdot \Phi_{12}$
Летальная	$tr6 = 0,167 - 0,00816 \cdot \Phi_1 + 0,0002 \cdot \Phi_8 + 0,024 \cdot \Phi_{10}$

Таблица 14

На открытом воздухе на 11 часов

Вид травмы	Математическая модель
Незначительная	$tr1 = 4,191 + 0,024 \cdot \Phi_4 - 0,032 \cdot \Phi_{11}$
Слабая	$tr2 = 6,385 - 0,643 \cdot \Phi_4 + 0,035 \cdot \Phi_{11}$
Травма	$tr3 = 3,243 - 0,106 \cdot \Phi_4$
Тяжелая	$tr4 = 2,135 + 0,148 \cdot \Phi_4 - 0,03 \cdot \Phi_{11} - 0,056 \cdot \Phi_{12}$
Инвалидность	$tr5 = 0,908 + 0,118 \cdot \Phi_4 - 0,0024 \cdot \Phi_{11} - 0,045 \cdot \Phi_{12}$
Летальная	$tr6 = 0,092 - 0,0053 \cdot \Phi_1 + 0,004588 \cdot \Phi_{12}$

Таблица 15

На открытом воздухе на 16 часов

Вид травмы	Математическая модель
Незначительная	$tr1 = 3,01 + 0,027 \cdot \Phi_1 + 3,007 \cdot \Phi_{10} - 0,0069 \cdot \Phi_{11}$
Слабая	$tr2 = 2,921 - 0,057 \cdot \Phi_4 + 9,029 \cdot \Phi_{10} - 0,0059 \cdot \Phi_{12}$
Травма	$tr3 = 3,179 - 0,098 \cdot \Phi_4$
Тяжелая	$tr4 = -2,251 + 0,216 \cdot \Phi_4 + 5,997 \cdot \Phi_{10} - 0,0066 \cdot \Phi_{12}$
Инвалидность	$tr5 = -2,601 + 0,173 \cdot \Phi_4 + 4,798 \cdot \Phi_{10} - 0,0053 \cdot \Phi_{12}$
Летальная	$tr6 = -1,116 - 0,0033 \cdot \Phi_1 - 0,135 \cdot \Phi_5 + 11,296 \cdot \Phi_{10}$

Выводы:

1. Анализ математической модели показал, что существует взаимная корреляция между целой группой факторов;
2. Из анализа можно сделать вывод о возможности исключения следующих коррелированных факторов из математической модели: - WBGT – температурное напряжение;- ионизацию воздуха;- инфракрасное излучение;- электромагнитное излучение;- электромагнитное поле;- статическое электричество.
3. Определяющими факторами травматизма является освещение в рабочей зоне, содержание газов (CO₂ и SO₂)

Список литературы: 1. С.А. Айвазян. Прикладная статистика. Москва, 2001, "Юнити" - 432 с. ;
2. Д.К. Монгомери "Планирование эксперимента и анализ данных" Ленинград "Судостроение" 1980г. - 384 с. 3. В.П. Байбак и др. "Статистична обробка даних" Київ 2001, Видавництво МІВВЦ – 388 с.

Поступила в редколлегию 17.06.2009