

4. Шипилов А. И. Профессиональная усталость и как с ней бороться / А. И. Шипилов, О. И. Шипилова // Кадры предприятия. – 2003. – №11. – С.55-60.

*Стаття надійшла до редакції 24.09.2014.*

УДК 331.468

**Т. М. Таїрова**, к. х. н., ст. наук. співр., (ДУ «ННДІПБОП»), **К. Н. Ткачук**, д. т. н., проф., **Л. О. Мітюк**, к. т. н., доц. (НТУУ «КПІ»)

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ У ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ**

**T. N. Tairova** (SI «NRIISH») **K. N. Tkachuk**, **L. O. Mitiuk** (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

### **MATHEMATICAL SIMULATION INDEXES OF EVALUATION OF OCCUPATIONAL INJURIES IN THE COAL INDUSTRY**

*Досліджено тенденції змін показників оцінювання виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі і визначено їх прогностичні значення.*

*Побудовано математичні багатофакторні моделі, які описують залежність показників оцінювання виробничого травматизму від обсягу видобутку вугілля та інших факторів, що впливають на рівень виробничого травматизму у вугільній галузі.*

**Ключові слова:** математична модель, множинна регресія, показники оцінювання виробничого травматизму.

*Исследованы тенденции изменений показателей оценивания производственного травматизма в угольной отрасли и определены их прогнозные значения.*

*Построены математические многофакторные модели, которые описывают зависимость показателей оценки производственного травматизма от объемов добычи угля и других факторов, влияющих на уровень производственного травматизма в угольной отрасли.*

**Ключевые слова:** математическая модель, множественная регрессия, показатели оценки производственного травматизма.

*Changes of trend parameters of evaluation of occupational injuries in coal industry were investigated and their predicted values were determined.*

*The mathematical multivariate models, which describe the dependence of the estimates of occupational injuries in coal industry and other factors affecting the level of occupational injuries, were built.*

**Key words:** mathematical model, multiple regression, indexes of evaluation of occupational injuries.

**Вступ.** У всіх країнах світу високий рівень виробничого травматизму є однією з основних проблем вугільної промисловості. Порівняно з іншими

галузями виробництва у вуглевидобувній галузі України реєструється надзвичайно високий рівень виробничого травматизму, відносна кількість травмованих у вугільній галузі в 2000...2013 роках становила 35...40 % від загальної кількості травмованих в країні. Розв'язання цієї проблеми ускладнюється численними порушеннями технологічної і виробничої дисципліни на багатьох шахтах, недоліками в організації державного нагляду за безпечним веденням гірничих робіт на вуглевидобувних підприємствах усіх форм власності. Адже майже 96 % шахт працюють понад 20 років без реконструкції, понад 50 % машин і устаткування для видобутку вугілля повністю зношені. Наукові дослідження, що проводяться з метою зниження рівня виробничого травматизму в галузі, характеризуються різноманітністю підходів і методичного апарату досліджень та в основному спрямовані на поглиблений аналіз причин і подій настання нещасних випадків з тяжким і смертельним наслідком, розроблення заходів щодо їх попередження. Значний внесок у вирішення питання безпеки праці на вуглевидобувних підприємствах зробили такі вчені, як Дерев'янський, В. Ю. Любовський Ю. С. [1], Кружилко О. Е., Ткачук К. Н. [2], Митрофанова Т. Н. [3], Чигарьов В.В. [4], Льовкін М. Б. [5], Єсипенко А.С. [6] та інші. Отже проблема безпеки праці на підприємствах вугільної галузі залишається актуальною і потребує подальшого її розвитку в теоретичних і практичних аспектах.

**Метою роботи** є визначення тенденцій змін показників оцінювання виробничого травматизму і побудова математичних моделей, яка встановлює залежність показників оцінювання виробничого травматизму від множини факторів, що призводять до настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі.

**Робота виконувалась** з використанням теоретичних, експериментальних методів досліджень і багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Для дослідження виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості використовували статистичні дані щодо обсягу видобутку вугілля, кількісні і якісні показники виробничого травматизму, отримані шляхом аналізу матеріалів спеціального розслідування нещасних випадків на виробництві з тяжким та смертельним наслідком за 2006...2013 рр.

**Аналіз даних** про стан безпеки праці на підприємствах вугільної галузі за 2006...2013 роки дозволив встановити тенденцію до зменшення абсолютних показників виробничого травматизму в галузі. В 2013 році рівень загального травматизму на підприємствах вугільної промисловості знизився на 13,8 %, а смертельного - на 17,4 %. Зниження рівня виробничого травматизму в 2013 році, як і в попередні роки, спостерігалось на тлі зменшення кількості працюючих у вугільній галузі при зростанні обсягу видобутку вугілля.

Так, на 1 млн. тонн видобутого вугілля у 2012 році травмувалось майже в шість разів, а загинуло майже в три рази менше шахтарів ніж у 2000 р. Дослідження динаміки змін обсягів видобутку вугілля в Україні за період 2000... 2013 роки вказують на коливання показників видобутку вугілля в межах

75...84 млн. т. в рік в 2000...2008 роках, а починаючи з 2009 року – на стійку тенденцію до збільшення обсягів його видобутку (рис.1).

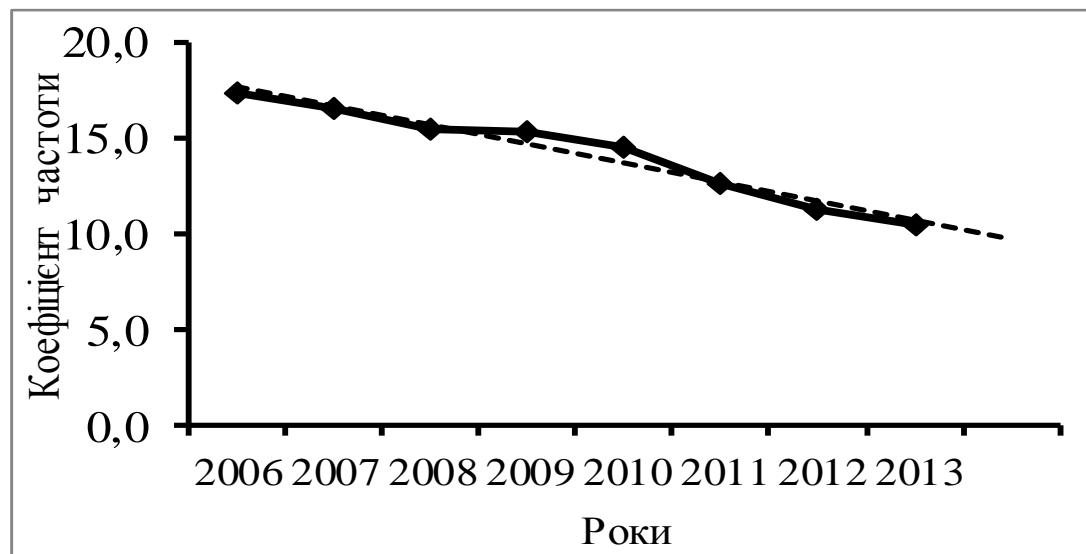


Рис. 1. Динаміка змін обсягів видобутку вугілля

Загальну тенденцію змін обсягів видобутку вугілля найкраще з усіх розглянутих видів рівнянь відображає параболічне рівняння тренду:

$$y = 0,565t^2 - 3,982t + 82,625, \text{ де:} \quad (1)$$

$y$  – обсяг видобутку вугілля, млн. т.

Оцінку якості рівняння тренду проводили за допомогою помилки абсолютної апроксимації, індексу детермінації  $R^2$ , які вказували на те, що рівняння тренду добре підбрано до вихідних даних і підтверджували точність вибору рівняння тренду. За умови, що визначена тенденція змін обсягу видобутку вугілля збережеться у 2014 році, точковий прогноз обсягу видобутку вугілля на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду (1), становить 92,59, а інтервальний – 84...101,18 млн. т. вугілля.

Рівень травматизму і захворюваності є основними показниками стану охорони і безпеки праці на підприємстві, тому при проведенні досліджень використовували такі показники оцінювання виробничого травматизму: коефіцієнт частоти ( $K_{\text{ч}}$ ), який характеризує кількість нещасних випадків, що приходить на 1000 працюючих за певний проміжок часу, і коефіцієнт тяжкості травматизму ( $K_{\text{т}}$ ), який оцінює середню тривалість непрацездатності, що приходить на 1 нещасний випадок, і визначається за формулою:

$$K_{\text{т}} = \frac{D}{H}, \text{ де:} \quad (2)$$

$D$  – загальна кількість робочих днів, втрачених внаслідок нещасних випадків;  $H$  – кількість нещасних випадків, що призвели до втрати працездатності.

З метою прогнозування розвитку показників оцінювання у часі визначили загальну тенденцію змін коефіцієнта частоти виробничого травматизму, яку найбільш повно відображає лінійне рівняння тренду:

$$Y = -1t + 18,7, \text{ де:} \quad (3)$$

$Y$  – коефіцієнт частоти виробничого травматизму.

Оцінка статистичних характеристик свідчить про достатньо високу адекватність рівняння, яке описує тенденції, що склалися: кореляційне відношення (коефіцієнт парної кореляції) становить 0,983, середня помилка апроксимації - 2,51 %. Це свідчить про вірний підбір рівняння тренду коефіцієнта частоти виробничого травматизму до вихідних даних. Точковий прогноз коефіцієнта частоти виробничого травматизму для вугільної галузі на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду (3), становить 9,7, а інтервальний прогноз 8,8...10,6.

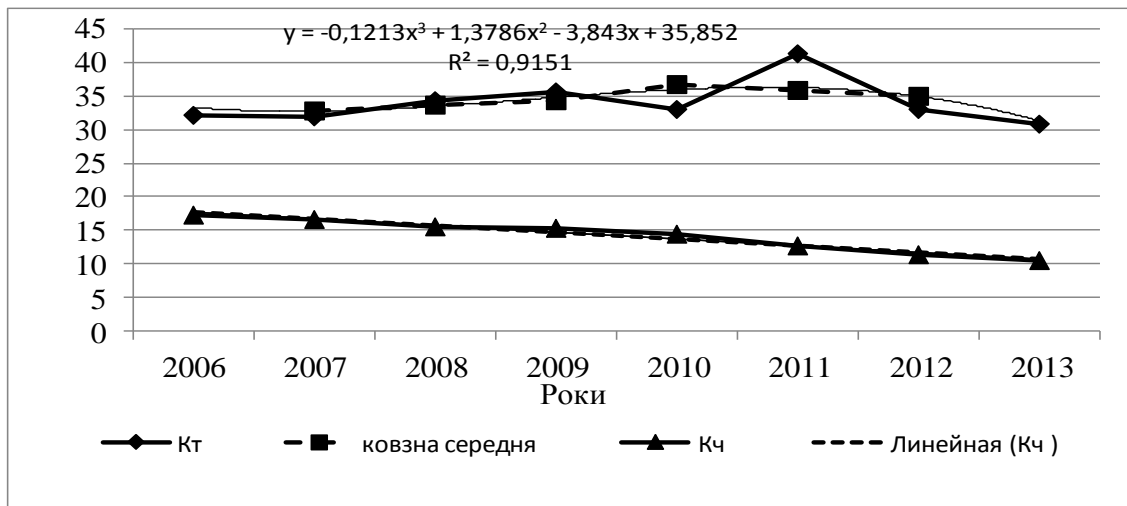


Рис. 2. Динаміка змін коефіцієнтів частоти і тяжкості виробничого травматизму

Загальну тенденцію змін коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму найбільш повно відображає поліноміальне рівняння тренду третього ступеня:

$$Y = -0,1213t^3 + 1,3786t^2 - 3,843t + 35,852. \quad (4)$$

Оцінка статистичних характеристик свідчить про достатньо високу адекватність рівняння, Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,9151$  підтверджує високу точність вибору рівняння тренду. Підсумовуючи викладене, можна зазначити, що в 2014 році, за умови збереження тенденції попередніх років, можливо очікувати зростання обсягу видобутку вугілля на тлі подальшого зменшення як виробничого травматизму так і тяжкості травм на тлі зменшення кількості працюючих на підприємствах вугільної галузі.

Для можливості надання науково-обґрунтованих висновків стосовно адекватності заходів запобігання виробничого травматизму були проведені дослідження за допомогою математичних методів і моделей, які дозволили

виявити найбільш значущі фактори і оцінити ступінь впливу кожного із введених у модель факторів на показники оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі. У загальному вигляді математична модель має вираз:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \text{ де:} \quad (3)$$

$Y$  - результативна ознака-функція;  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  - факторні ознаки.  
Математична модель коефіцієнта частоти ( $Y_{Kч}$ ) має такий вираз:

$$Y_{Kч} = 38,93 - 0,12 \cdot X_1 - 0,14 \cdot X_2 - 0,21 \cdot X_3, \text{ де:} \quad (4)$$

$X_1$  - діяльність або бездіяльність як роботодавця, так і працівника щодо дотримання трудової та виробничої дисципліни;  $X_2$  - діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці;  $X_3$  - обсяг видобутого вугілля, млн.т.

Для визначення показників, які впливають на коефіцієнт тяжкості виробничого травматизму, було побудовано математичну багатофакторну модель, що встановлює залежність кількості робочих днів, втрачених внаслідок нещасних випадків для випадків із втратою працездатності на один робочий день і більше, від множини факторів. Математична модель коефіцієнта тяжкості ( $D$  - результативна ознака) має такий вираз:

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)}{H} \quad (5)$$

$$D = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \text{ де:} \quad (6)$$

$D$  - результативна ознака (загальна кількість днів непрацездатності);  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  - факторні ознаки;  $H$  - кількість нещасних випадків.

Математична модель загальної кількості днів непрацездатності з урахуванням факторів, що впливають на результативну ознаку, має такий вираз:

$$D = 40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3, \text{ де:} \quad (7)$$

$X_1$  - обсяг видобутого вугілля, млн. т.;  $X_2$  - діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці;  $X_3$  - рівень справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжкими наслідками.

Виходячи з викладеного коефіцієнт тяжкості визначали за формулою:

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3}{H} \quad (8)$$

Перевірка отриманих моделей на адекватність була проведена за

допомогою оцінки вкладу показників в регресійну модель, t- критеріїв, F-критерію Дарбіна-Уотсона.

Значення коефіцієнта детермінації для (4) і (7) рівняння дорівнює 0,96 і 0,861 відповідно, що свідчить про те, що побудовані регресії пояснюють більш ніж на 96% і 86% відповідно дисперсії коефіцієнта частоти і показника, що характеризує загальну кількість днів непрацездатності виробничого травматизму у вугільній галузі. Коефіцієнти кореляції мають досить велике значення, що свідчить про існування тісного лінійного зв'язку між незалежними показниками і залежною змінною.

Оцінку значимості рівнянь множинної регресії здійснювали шляхом перевірки гіпотези щодо рівності нулю коефіцієнта детермінації, розрахованого за даними генеральної сукупності:  $R^2$  або  $b_1 = b_2 = \dots = b_m$  (гіпотеза щодо незначимості рівняння регресії розрахованого за даними генеральної сукупності). Для її перевірки використовували F-критерій Фішера. При цьому розраховували фактичне значення F-критерію, через коефіцієнт детермінації  $R^2$ , за даними спостереження.

За таблицями розподілу Фішера-Снедекора визначали критичне значення F-критерію ( $F_{кр}$ ). Для цього задавались рівнем значимості  $\alpha$  (0,05) і двома числами ступенів свободи  $k_1=m$  і  $k_2=n-m-1$ . Табличне значення при ступенях свободи  $k_1 = 3$  і  $k_2 = n-m-1 = 8 - 3 - 1 = 4$ ,  $F_{кр}(3;4) = 6.59$ . Якщо  $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$ , то немає підстав для відхилення гіпотези.

$$F_{факт.} = \frac{R^2 \cdot (n-m-1)}{(1-R^2) \cdot m} = \frac{0.861 \cdot (8-3-1)}{(1-0.861) \cdot 3} = 8.23. \quad (9)$$

Оскільки фактичне значення  $F_{факт.}(8,23) > F_{кр}(6.59)$ , то коефіцієнт детермінації статистично значимий і модель є адекватною.

У зв'язку з тим, що значення коефіцієнта детермінації, яке близько до одиниці, не є запорукою високої якості рівняння регресії доцільно було перевірити гіпотезу стосовно автокореляції залишків. З даною метою була застосована статистика Дарбіна-Уотсона ( $DW$ ), яка визначає верхню і нижню межу значущості статистики  $DW$ . Критичні значення статистики  $DW$  залежать від рівня значущості, обсягу вибірки  $n$  та кількості пояснюючих змінних  $m$ .

Критичні значення статистики  $DW$  визначали на основі спеціальних таблиць для рівня значимості  $\alpha = 5\%$ , кількості спостережень  $n = 8$  і кількості змінних  $m=3$ . Автокореляція відсутня, якщо виконується така умова:

$$d_1 < DW \text{ и } d_2 < DW < 4 - d_2.$$

$$0.82 < 2.15 \text{ и } 1.75 < 2.15 < 4 - 1.75,$$

Для побудованих моделей  $DW = 2,15$  і  $2,16$ , тобто  $1.5 < 2.15 < 2.5$ , що свідчить про відсутність автокореляції залишків.

## Висновки

Побудовано математичні моделі показників оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі. Встановлено, що найбільший вплив на показники оцінювання виробничого травматизму мають фактори, що

характеризують діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці, рівень справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжкими наслідками і обсяг видобутого вугілля. Отримані дані будуть використані для подальшого удосконалення профілактичних заходів і як базова основа для прогнозування виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі. Перспектива подальших досліджень вбачається у виявленні інших факторів, що найбільш значимо впливають на рівень виробничого травматизму з метою формалізації узагальнених показників у вигляді математичних моделей для оптимізації безпеки праці на підприємствах вугільної галузі.

### Список використаних джерел

1. Деревянский В. Ю. / Прогноз травматизма на шахтных ленточных конвейерах / В. Ю Деревянский, Ю. С Любовский. // Уголь Украины. – 2007. – № 3. – С. 34 – 35.
2. Кружилко О. Е. / Побудова і дослідження математичної моделі коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму на підприємствах вугільної промисловості / О. Е. Кружилко, К.Н.Ткачук, А.І. Полукаров // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ДУ «ННДІПБОП», 2012.– Вип. 22. – С. 27-31, 160 с.
3. Митрофанова Т. Н. Научное обоснование методики прогноза и способов профилактики травматизма на горных предприятиях Северо-Западного региона: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» – Санкт-Петербургский гос.горный ин-т (техн. ун-т), Санкт-Петербург. – 2002. – 23 с.
4. Чигарьов В. В. / Методологічні аспекти прогнозування виробничого травматизму / В. В. Чигарьов, С. В. Шапошникова, Т.Г. Данилова // Вісник Приазовського державного технічного університету. Маріуполь: ПДТУ, 2006. – Вип. № 16 – С.256-261.
5. Льовкін М. Б. Закономірності впливу різних факторів на аварійність та травматизм у вугільних шахтах. Проблема охорони праці в Україні. Зб. наук. пр. вип.6/ НДІОП. К.: - 2002. – С. 17-23
6. Єсипенко А. С. / Оцінка стану і проблеми промислової безпеки та охорони праці в ризиконебезпечних галузях економіки України / А. С. Єсипенко, Т. М. Таїрова, О. А. Сліпачук // Серія «Вугледобувна галузь». – К.: ДУ «ННДІПБОП», 2014. – 64 с.
7. Охрана труда: человеческий фактор и государственный контроль. К. ННИИПБОП, 2008. – 118 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.10.2014 р.*