

6. *Гипсовые* вяжущие повышенной прочности и водостойкости из фосфогипса / В. В. Иваницкий, Л. Я. Клыкова, Ж. П. Байканов, В. П. Плетнев // Строительные материалы. – 1983. – № 9. – С. 12–14.

7. *Исследование* вторичных вод производства высокопрочного вяжущего из фосфогипса : сб. трудов ВНИИстром / [Т. М. Матвеева, Т. И. Карху, Н. Б. Антоничева, В. А. Терехов]. – 1984. – Вып. 52 (80). – 142 с.

8. *Іващенко Т. Г.* Екологічно безпечні процеси утилізації фосфогіпсу і конверторного шлаку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Т. Г. Іващенко. – К., 2010. – 24 с.

УДК 331.468

**Т.М. Таїрова**, канд. хім. наук

ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки і охорони праці», м. Київ, Україна

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ У ВУГІЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

**Т.Н. Таїрова**, канд. хим. наук

ГУ «Национальный научно-исследовательский Институт промышленной безопасности и охраны труда», г. Киев, Украина

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

**Tamara Tairova**, PhD in Chemical Sciences

State Institution «National Research Institute of Industrial safety and health», Kyiv, Ukraine

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

*Досліджено тенденції змін показників оцінювання виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі, побудовано трендові моделі і розраховано їх короткострокові прогностичні значення.*

*Побудовано математичні багатofакторні моделі, які описують залежність показників оцінювання виробничого травматизму від обсягу видобутку вугілля, діяльності або бездіяльності роботодавця щодо створення безпечних умов праці, рівня справності обладнання, робота на якому призвела до нещасних випадків з тяжким наслідком, та інших факторів. Визначено фактори, що найбільше 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 на предприятиях угольной отрасли и определены их краткосрочные прогнозные значения.*

*Построены математические многофакторные модели, которые описывают зависимость показателей оценивания производственного травматизма от объемов добычи угля, деятельности или бездеятельности работодателей по созданию безопасных условий труда, уровня исправности оборудования, работа на котором привела к несчастным случаям с тяжелыми последствиями, и других факторов. Определены факторы, которые существенно влияют на уровень производственного травматизма в угольной отрасли.*

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

*It were investigated the changes of trend parameters of evaluation of occupational injuries on enterprises of the coal industry and their short-term forecast values were calculated.*

*The mathematical multivariate models which describe the dependence of the estimates of occupational injuries in coal production, activity or inactivity of employers to create safe working conditions, level of good condition of equipment, which led to accidents with severe consequences and other factors, were built. The most affect factors were determined.*

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

**Постановка проблеми.** Однією з основних проблем вугільної промисловості у всіх країнах світу є високий рівень виробничого травматизму. В Україні реєструється надзвичайно високий рівень виробничого травматизму у вуглевидобувній галузі, який значно вищий ніж у передових вугледобувних країнах світу. Відносна кількість травмованих у вугільній галузі у 2000–2013 роках становила 35–40 % від загальної кількості травмованих у країні. Вирішення 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 та розроблення заходів щодо їх попередження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення питання безпеки праці на вуглевидобувних підприємствах зробили такі вчені, як В.Ю. Дерев'янський, Ю.С. Любовський [1], О.Е. Кружилко, К.Н. Ткачук [2], Т.Н. Митрофанова [3], В.В. Чигарьов [4], М.Б. Льовкін [5], А.С. Єсипенко [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, які встановлюють залежність показників оцінювання виробничого травматизму від множини факторів, що призводять до настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі.

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

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 у рік у 2000–2008 роках, а починаючи з 2009 року – на стійку тенденцію до збільшення обсягів його видобутку. Загальну тенденцію змін обсягів видобутку вугілля відображає параболічне рівняння тренду (1):

$$y = 0,565t^2 - 3,982t + 82,625. \quad (1)$$

Точковий прогноз обсягу видобутку вугілля на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду (1), за умови, що визначена тенденція змін обсягу видобутку вугілля попередніх років зберігалась б у 2014 році, міг становити у 2014 – 92,59, а інтервальний – 84–101,18 млн т вугілля.

Основними показниками оцінювання стану охорони і безпеки праці на підприємствах вугільної галузі є 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 один нещасний випадок, і визначається за формулою  $K_{\text{т}} = \frac{D}{H}$ , де  $D$  – зага-

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

З метою прогнозування розвитку показників оцінювання виробничого травматизму у часі визначили загальну тенденцію їх змін. Найбільш повно тенденцію змін коефіцієнта частоти виробничого травматизму за період 2006–2013 роки відображає лінійне рівняння тренду  $Y = -1t + 18,7$ , де  $Y$  – коефіцієнт частоти виробничого травматизму.

Оцінка статистичних характеристик свідчить про правильний підбір рівняння тренду коефіцієнта частоти виробничого травматизму до вихідних даних, достатньо високу адекватність рівняння, яке описує тенденції, що склалися: кореляційне відношення (коефіцієнт парної кореляції) становить 0,983, середня помилка апроксимації – 2,51 %. Точковий прогноз коефіцієнта частоти виробничого травматизму для вугільної галузі на 2014 рік, розрахований за рівнянням тренду, становить 9,7, а інтервальний прогноз – 8,8–10,6. Відповідно до статистичних даних за 9 місяців 2014 року коефіцієнт частоти виробничого травматизму для вугільної галузі становив 9,1.

Загальну тенденцію змін коефіцієнта тяжкості виробничого травматизму найбільш повно відображає поліноміальне рівняння тренду третього ступеня (2), а точність вибору рівняння тренду підтверджує висока оцінка статистичних характеристик і коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,9151$ :

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

Підсумовуючи викладене, можна зазначити, що в 2014 році, за умови збереження тенденції попередніх років, можливо було б очікувати зростання обсягу видобутку вугілля на тлі подальшого зменшення як виробничого травматизму, так і тяжкості травм.

Для можливості надання науково обґрунтованих висновків стосовно адекватності заходів запобігання виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі були проведені дослідження за допомогою математичних методів і моделей, які дозволили виявити найбільш значущі фактори й оцінити ступінь впливу кожного із введених у модель факторів на показники оцінювання виробничого травматизму у вугільній галузі. У загальному вигляді математична модель має вираз:  $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ , де  $Y$  – результативна ознака-функція;  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  – факторні ознаки.

Вивчення літературних джерел вказує на те, що для аналізу виробничого травматизму використовуються методи, засновані на визначенні традиційних показників травматизму, а саме: причин, подій, професій, устаткування тощо. При цьому треба зауважити, що вказані показники не дають достатньої інформації щодо причин травм і аварій, пов'язаних з діяльністю або бездіяльністю роботодавця, так і поведінкою персоналу на час настання нещасного випадку. Визначення впливу зазначених факторів на рівень виробничого травматизму і встановлення сукупності особистісних характеристик робітника і роботодавця, які впливають на безпеку праці на виробництві, дозволить запобігти нещасним випадкам на виробництві. Такими особистісними характеристиками можуть бути для працівника – мотивація, кваліфікація, дисципліна, а для роботодавця – відповідальність тощо. Визначення показників, що характеризують діяльність або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці, а також діяльність або бездіяльність як роботодавця, так і працівника щодо дотримання трудової та виробничої дисципліни, проводили за розробленою методикою оцінювання. Залежність коефіцієнта частоти виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі від множини факторів найбільш повно описує математична модель коефіцієнта частоти ( $Y_{Kч}$ ):

$$Y_{Kч} = 38,93 - 0,12 \cdot X_1 - 0,14 \cdot X_2 - 0,21 \cdot X_3, \quad (3)$$

де  $X_1$  – 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 зв'язку показників, що 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. Цей зв'язок можна визначити за рівнянням регресії вигляду (4; 5):

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)}{H}, \quad (4)$$

$$D = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n), \quad (5)$$

де  $D$  – 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:

$$D = 40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3, \quad (6)$$

де  $X_1$  – 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 (7):

$$K_T = \frac{D}{H} = \frac{40,54 + 2,76 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 4,53 \cdot X_3}{H}. \quad (7)$$

Перевірка отриманих моделей на адекватність була проведена за допомогою оцінювання внеску показників у регресійну модель, t-критеріїв, F-критерію Дарбіна-Уотсона.

Значення коефіцієнтів детермінації для (3) і (6) рівнянь дорівнювало 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.

Оцінювання значимості рівнянь множинної регресії здійснювали за допомогою 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  $H_0$ .

$$F = \frac{R^2(n-m-1)}{(1-R^2)m} = \frac{0,861(8-3-1)}{(1-0,861)3} = 8,23. \quad (8)$$

Оскільки фактичне значення  $F_{\text{фак.}} (8,23) > F_{\text{кр}} (6,59)$ , 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 цією 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:  $d_1 < DW$  і  $d_2 < DW < 4 - d_2$ , підставляючи значення  $d_1$  і  $d_2$ , маємо  $0,82 < 2,15$  і  $1,75 < 2,15 < 4 - 1,75$ . 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 розроблення стратегії і подальшого удосконалення профілактичних заходів, як базова основа для прогнозування виробничого травматизму на підприємствах вугільної галузі. Перспектива подальших досліджень вбачається у виявленні інших факторів, що сильно 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. Деревянський В. Ю. Прогноз травматизма на шахтних ленточних конвейерах / В. Ю. Деревянський, Ю. С. Любовський // Уголь України. – 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.
3. Митрофанова Т. Н. Научное обоснование методики прогноза и способов профилактики травматизма на горных предприятиях Северо-Западного региона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.26.01 «Охрана труда» / Т. Н. Митрофанова. – СПб., 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 / М. Б. Льовкін // Проблема охорони праці в Україні : зб. наук. пр. – К., 2002. – Вип. 6. – С. 17–23.
6. Єсипенко А. С. Оцінка стану і проблеми промислової безпеки та охорони праці в ризико-небезпечних галузях економіки України / А. С. Єсипенко, Т. М. Таїрова, О. А. Сліпачук. – К. : ДУ «ННДІПБОП», 2014. – 64 с.
7. Охрана труда: человеческий фактор и государственный контроль. – К. : ННИИПБОП, 2008. – 118 с.