

УДК 331.454;504.75;574

Т.М. Таїрова, канд. хім. наук

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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЕФФІЦІЄНТА ТЯЖКОСТІ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХІМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ**Т.Н. Таїрова**, канд. хім. наук

ГУ «Національний науково-исследовательский институт промышленной безопасности и охраны», г. Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЯЖЕСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**Tamara Tairova**, PhD in Chemical Sciences

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

THE MATHEMATICAL MODEL OF GRAVITY COEFFICIENT OF OCCUPATIONAL INJURIES IN CHEMICAL INDUSTRY

За результатами аналізу виробничого травматизму на підприємствах хімічної промисловості побудовано математичні моделі ризику виробничого травматизму і коефіцієнта тяжкості. Запропоновано новий підхід до визначення факторів, що найбільш значущо впливають на рівень виробничого травматизму з тяжким наслідком і розроблено математичну модель залежності коефіцієнта тяжкості від травмонезбезпечних факторів. Отримані результати дають змогу прогнозувати показники ризику загального травматизму і коефіцієнта тяжкості та своєчасно вживати заходи запобігання виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу.

Ключові слова: математична модель, коефіцієнт тяжкості, ризик виробничого травматизму, травмонезбезпечні фактори.

По результатам анализа производственного травматизма на предприятиях химической промышленности построены математические модели риска производственного травматизма и коэффициента тяжести. Предложено новый подход к определению факторов, которые наиболее значимо влияют на уровень производственного травматизма с тяжелыми последствиями, разработана математическая модель зависимости коэффициента тяжести от травмоопасных факторов. Полученные результаты дают возможность прогнозировать показатели риска травматизма и коэффициента тяжести с целью своевременного принятия мер по предотвращению производственного травматизма на предприятиях химического комплекса.

Ключевые слова: математическая модель, коэффициент тяжести, риск производственного травматизма, травмоопасные факторы.

On the basis of analysis of occupational injuries in the chemical industry the mathematical relational models of risk of occupational injuries and gravity of coefficient have been offered. A new approach was proposed to identify the factors that most significantly have influence on the level of occupational injuries with severe consequences, the mathematical model of gravity coefficient from the traumatic factors has been offered was built. The results give the opportunity to predict injury risk and the gravity of coefficient in order to prevent occupational injuries at chemical enterprises.

Key words: mathematical model, the coefficient of gravity, the risk of accidents, traumatic factors.

Постановка проблеми. Хімічна, нафтохімічна і нафтопереробна промисловість (далі – хімічний комплекс) є однією з найважливіших галузей економіки в Україні. Практично на всіх підприємствах хімічного комплексу, в основному, зосереджені об'єкти підвищеної небезпеки (далі – ОПН), тобто такі об'єкти, на яких використовуються, виготовляються і зберігаються одна або кілька небезпечних речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, та які є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру [1].

Ймовірність виникнення нещасних випадків на підприємствах хімічного комплексу (у т. ч. на об'єктах підвищеної небезпеки) щороку зростає, що зумовлено застосуванням застарілих систем протиаварійного захисту, потенційно небезпечних технологічних процесів і ресурсним зношенням технологічного обладнання, яке за оцінюванням експертів становить від 60 до 80 %. Оскільки настання нещасних випадків на виробництві стається за умови наявності як джерела небезпеки, так і перебування працівника в зоні його дії, тому актуальними для хімічного комплексу залишаються поглиблені дослідження, що стосуються визначення небезпечних, характерних для підприємств хіміч-

ного комплексу подій і причин, що призводять до нещасних випадків, особливо з тяжким та смертельним наслідком.

Аналіз статистичних даних щодо взаємодії людини з технічними засобами виробництва, їх впорядкування і спеціальне оброблення дозволяє ідентифікувати небезпечні і шкідливі фактори, визначити зв'язок між ними та встановити фактори, що мають постійний характер. Повне використання цієї інформації значною мірою залежить від методів оброблення та аналізу, використання елементів теорії ймовірності та методів математичної статистики.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням управління безпекою, аналізу і прогнозуванню аварій на підприємствах хімічного комплексу присвячено багато публікацій у вітчизняних та іноземних виданнях таких учених, як: L. Korzeniowski, М. В. Лісанов, А. С. Печеркін, В. І. Сидоров, В.В. Бегун та ін. [2–5]. Проте поглибленому вивченню причин нещасних випадків на підприємствах хімічного комплексу, особливо тих, що стались через неправильні дії працівника, і які можна розглядати як передвісники надзвичайних ситуацій, приділялось мало уваги. Адже в умовах роботи на ОПН особливе значення має висока відповідальність людини за кожне рішення, при цьому ймовірнісні дії працівника залежать від різних чинників: рівня його теоретичної і практичної підготовки, стажу роботи за спеціальністю тощо.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є побудова математичних моделей коефіцієнта тяжкості і ризику виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу залежно від найбільш травмонебезпечних факторів, що впливають на рівень травматизму в галузі.

Виклад основних результатів досліджень. Дослідження виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу проводили на основі звітів Держгірпромнагляду України і даних електронної бази, створеної за результатами аналізу матеріалів спеціального розслідування нещасних випадків на виробництві з тяжким і смертельним наслідками за 2006–2013 роки. З метою виявлення типових закономірностей настання нещасних випадків на підприємствах хімічного комплексу проводили структурне групування статистичного матеріалу за віковими групами і типологічне за такими критеріями групування, як події і причини, що призвели до настання нещасних випадків з тяжким і смертельним наслідками тощо. Для групування за віком використовували принцип рівності інтервалів, ширина інтервалу дорівнювала 5 років. Під час проведення порівняльного аналізу обчислювали відносні величини, що представляли відношення між розмірами частин до цілого. Базою порівняння слугували максимальні значення за сукупністю в цілому. Для прогнозування використовували методологічні принципи багатофакторного регресивного аналізу.

На підставі вивчення статистичних даних показників ризику виробничого травматизму і коефіцієнта тяжкості (середня кількість днів непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок) на підприємствах хімічного комплексу за період 2006–2013 роки визначено їх основну тенденцію (тренд). Так, лінія тренду ризику виробничого травматизму вказує на зниження рівня досліджуваного показника у часі, а лінія тренду коефіцієнта тяжкості (середня кількість днів непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок), навпаки – до його зростання, що свідчить про зростання тяжкості травм на підприємствах хімічного комплексу останніми роками. Для згладжування короткострокових коливань і виявлення основних тенденцій рядів динаміки використовували метод ковзної середньої (рис.). На підставі логічного аналізу розвитку досліджуваних показників із плином часу із заданого масиву функцій були вибрані рівняння, які найбільш точно відображають загальну тенденцію змін ризику виробничого травматизму і коефіцієнта тяжкості (1; 3).

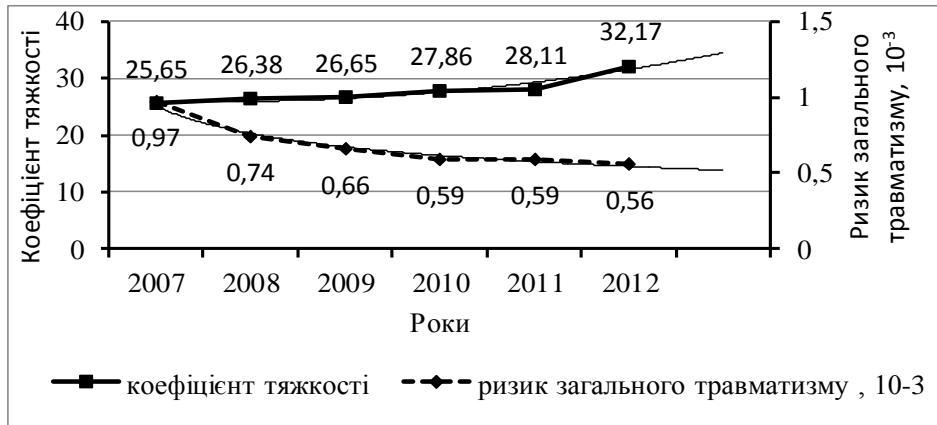


Рис. Тенденції змін ризику загального травматизму і коефіцієнта тяжкості

Остаточне рішення про вид апроксимуючої функції приймали після визначення її параметрів методом найменших квадратів, проведення оцінювання адекватності моделі досліджуваному процесу і точності. Рівняння тренду ризику виробничого травматизму (у) на підприємствах хімічного комплексу має вигляд:

$$y = 0,94 \cdot t^{-0,306} \tag{1}$$

Оскільки закономірність досліджуваного процесу знаходить відображення у наявності певних статистичних властивостей залишкової компоненти, то для визначення наявності автокореляції між залишками використовували тест Дарбіна-Уотсона, який показав на відсутність автокореляції залишків. Оскільки модель адекватна, визначили точковий прогноз при $t = 2,79$ (0,69) та інтервальний (0,57; 0,81). Індекс детермінації свідчить про високу точність вибору рівняння тренду:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - y_t)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0,0052}{0,21} = 0,98. \tag{2}$$

Таким чином, усі розрахункові коефіцієнти моделі є значущими, модель адекватна, розраховуємо зміну показників у часі для $t = 2013$; $x = 2013 - 2007 = 6$. Відповідно $y_{n+1} = 0,94 \cdot t^{-0,306} = 0,94 \cdot 6^{-0,306} = 0,53$. Розрахункове прогнозоване значення ризику виробничого травматизму на 2014 рік становить $0,53 \cdot 10^{-3}$, тобто передбачається зменшення кількості травмованих за умови збереження кількості працюючих у галузі на рівні 2013 року.

Аналогічним чином було визначено рівняння тренду коефіцієнта тяжкості (K_T) виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу, яке має такий вигляд:

$$K_T = 0,299 \cdot t^2 - 0,971 \cdot t + 26,68. \tag{3}$$

Якість рівняння тренду оцінювали за допомогою помилки абсолютної апроксимації

$$\bar{A} = \frac{\sum|y_t - y_i|}{n} \cdot 100 \% = \frac{0,11}{6} \cdot 100 \% = 1,82 \%. \tag{4}$$

Оскільки помилка апроксимації знаходилась у межах 5...7 %, то був зроблений висновок про правильний вибір рівняння тренду до вихідних даних.

Індекс детермінації свідчить про високу точність вибору рівняння тренду:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - y_t)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{2,2}{27,42} = 0,92. \tag{5}$$

Стандартну помилку прогнозу розраховували за формулою:

$$K_1 = 2,776 \cdot 0,66 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6} + \frac{3 \cdot (6+2 \cdot 1 - 1)^2}{6 \cdot (6^2 - 1)}} = 2,5. \tag{6}$$

Точковий прогноз, $t = 7$: $y(7) = 0,3 \cdot 7^2 - 0,97 \cdot 7 + 26,68 = 34,51$, інтервальний прогноз становив 32,01; 37,01.

Як показали наші попередні дослідження, виробничий травматизм в Україні має певні, характерні для кожної галузі державного нагляду особливості, пов'язані з динамікою змін загального та смертельного травматизму, причинами і подіями, віковою диференціацією загиблих, професіями та іншими критеріями оцінювання виробничого травматизму [6].

Нещасні випадки з тяжким та смертельним наслідками в хімічному комплексі стаються в основному через п'ять подій, сумарна питома вага яких становить 67,1 %. Це дорожньо-транспортна пригода, падіння потерпілого, падіння, обрушення, обвалення предметів, матеріалів, породи ґрунту, дія рухомих і таких, що обертаються, деталей, обладнання, машин і механізмів і ураження електричним струмом. Однак характерною відмінністю смертельного і тяжкого травматизму на підприємствах хімічного комплексу є наявність ще чотирьох «хімічних» подій, притаманних саме цій галузі, таких як: дія температур, дія шкідливих речовин, пожежа і вибух. Сумарна питома вага цих подій у загальній кількості подій, що призводять до нещасних випадків з тяжким і смертельним наслідком у хімічному комплексі, становить понад 24,0 %.

Аналіз причин виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу показав, що, починаючи з 2009 року, реєструються суттєві зміни у структурі причин настання нещасних випадків. Так, відзначається зростання технічної складової причин з 20,0 % у 2009 році до 35,7 % у 2012 році і до зниження організаційної – з 72,0 до 57,1 %. Основними технічними причинами настання нещасних випадків з тяжким і смертельним наслідком у хімічному комплексі є незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будівель, засобів виробництва, транспортних засобів – 9,7 %, неякісне розроблення проектної документації на будівництво, реконструкцію виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, обладнання, устаткування тощо 5,1 %, і конструктивні недоліки, недосконалість, недостатня надійність засобів виробництва – 4,3 %. Зазначене свідчить про недостатню увагу з боку роботодавців питанням створення безпечних умов праці.

Для визначення показників, що характеризують дії або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці і неправильні дії потерпілих, що призводять до настання нещасних випадків на виробництві, автором було розроблено методику оцінювання вказаних показників. Використання зазначеної методики оцінювання дозволило визначати щорічно відносну кількість нещасних випадків на підприємствах хімічного комплексу, що сталися через бездіяльність роботодавця або через неправильні дії працівника. Так, за період з 2005–2012 роки у середньому щорічно через дії або бездіяльність роботодавця ставалось понад 32,3 %, а через дії або бездіяльність потерпілого – 22,8 % нещасних випадків з тяжким наслідком. Тільки у 2013 році на підприємствах хімічного комплексу через дії або бездіяльність роботодавця сталось 89,2 % нещасних випадків з тяжким наслідком.

Використання багатофакторного кореляційно-регресивного аналізу дозволило одержати адекватну математичну модель за вибраними показниками і встановити їх вплив на коефіцієнт тяжкості виробничого травматизму на підприємствах хімічного комплексу. Математична модель має такий вигляд:

$$Y = 16,46 + 0,23 \cdot X_1 + 0,14 \cdot X_2, \quad (7)$$

де Y – коефіцієнт тяжкості;

X_1 – показник, що характеризує дії або бездіяльність роботодавця;

X_2 – показник, що характеризує дії або бездіяльність потерпілого.

Згідно з розрахунковими даними загальний коефіцієнт детермінації R на 84 % пояснює загальну варіацію коефіцієнта тяжкості варіацією двох факторів: дії або бездіяльність роботодавця і дії або бездіяльність потерпілого, що призвели до настання нещасного випадку з тяжким наслідком. Під час визначення залежності між факторами було встановлено, що всі парні коефіцієнти кореляції $|r| < 0,7$, тобто мультиколінеарність факторів відсутня. Аналіз стандартизованих коефіцієнтів бета показав, що найбільший вплив на коефіцієнт тяжкості має показник, що характеризує дії або бездіяльність роботодавця щодо створення безпечних умов праці ($\beta_1 = 1,142$), а за ним іде показник, що характеризує дії або бездіяльність потерпілого; ($\beta_2 = 0,469$). Значення коефіцієнта β_i дають підставу стверджувати, що зі збільшенням відносної кількості травмованих через дії або бездіяльність роботодавця на 1 % за умови, що інші факторні ознаки лишаються незмінними, середнє значення коефіцієнта тяжкості збільшується на 0,23, а зі збільшенням відносної кількості травмованих через дії або бездіяльність працівника – на 0,14.

Перевірка моделі на істотність довела наявність невивадкової залежності, а також високий рівень адекватності побудованої регресійної моделі (фактичний рівень F -Фішера більше за табличне значення $F(12,67) > F_{\text{табл}}(5,79)$), тобто коефіцієнт детермінації статистично значущий і рівняння регресії статистично надійно. Для перевірки значущості рівняння і його коефіцієнтів досліджували абсолютні і відносні помилки апроксимації. Середня помилка апроксимації становить:

$$A = \frac{\sum \left| \frac{\varepsilon}{\bar{Y}} \right| \cdot 100\%}{n} = \frac{0,751 \cdot 100\%}{8} = 9,382. \quad (8)$$

Довірчі інтервали для коефіцієнтів рівняння регресії з надійністю 95 % такі:

$$b_0 = (11,11; 21,81), b_1 = (0,15; 0,32), b_2 = (0,0134; 0,26).$$

Аналіз корельованості відхилень за статистикою Дарбіна-Уотсона показав, що автокореляція залишків відсутня і математична модель адекватна.

Висновки. Розроблено адекватні математичні моделі показників виробничого травматизму з тяжким наслідком на підприємствах хімічного комплексу, які дозволяють не тільки передбачати розвиток виробничого травматизму у часі, але дають можливість одержати більш повне оцінювання стану охорони праці на підприємствах хімічного комплексу і є основою для вироблення оптимальних управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. *Порядок* декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: НПАОП 0.00-6.22-02 : затв. Постановою КМУ від 11.07.02 № 956.
2. *Korzeniowski L. Zarządzanie bezpieczeństwem. Od ryzyka do systemu / L. Korzeniowski.* – Kraków : LIPORT LFK, 2001. – S. 21–26.
3. *Сидоров В. И.* О декларировании промышленной и пожарной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса / В. И. Сидоров, М. В. Лисанов // *Безопасность труда в промышленности.* – 2009. – № 11. – С. 44–51.
4. *Таїрова Т. М.* Кількісна оцінка ризику виникнення аварії на об'єкті підвищеної небезпеки / Т. М. Таїрова // *Проблеми охорони праці в Україні.* – К. : ННДПБООП, 2007. – Вип. 13. – С. 43–50.
5. *Бегун В. В.* Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) : навчальний посібник / В. В. Бегун, І. М. Науменко. – К., 2004. – 328 с.
6. *Таїрова Т. М.* Аналіз та прогнозування вікової диференціації виробничого травматизму в Україні / Т. М. Таїрова // *Проблеми охорони праці в Україні.* – К. : ННДПБООП, 2012. – Вип. 24. – С. 49–58.