

УДК 331.454

**Т.М. Таїрова**, канд. хім. наук

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

## ІМОВІРНІСНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

*Пропонується використання математичних методів (зокрема, закону Пуассона) для прогнозування ймовірності настання нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на виробництвах хімічного комплексу.*

**Ключові слова:** ризик, травматизм, ймовірність, математична модель, прогнозування.

*Предложено использование математических методов (в частности, закона Пуассона) для прогнозирования вероятности возникновения несчастных случаев с тяжелыми последствиями и смертельным исходом на предприятиях химического комплекса.*

**Ключевые слова:** риск, травматизм, вероятность, математическая модель, прогнозирование.

*The use of mathematical methods (in particular, law of Poisson) is offered for forecasting probability of origin of accidents with heavy consequences and mortal end on the enterprises of chemical complex.*

**Key words:** risk, traumatism, probability, mathematical model, forecasting.

**Постановка проблеми.** Підприємства хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості (далі – хімічний комплекс), займають провідне місце за обсягом виробництва продуктів основної хімії та хімії органічного синтезу. На цих підприємствах зосереджені об'єкти підвищеної небезпеки, тобто такі об'єкти, на яких використовуються, виготовляються та 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, розвиток якої може призвести до травмування працівників підприємств, та тих, хто мешкає у зонах можливого ураження ("третіх осіб") [1]. Найбільш потенційно небезпечними є великотоннажні виробництва неорганічних речовин (добрива, хлор, аміак, кислоти), нафтопереробні та газопереробні заводи, виробництва продуктів органічного синтезу й об'єкти, що використовують хлор та аміак.

Одним із факторів, що обумовлює небезпечність об'єктів хімічного комплексу, є високий рівень спрацьованості основних фондів, застосуванням застарілих систем протипожежної захисту та потенційно небезпечних технологічних процесів. Ймовірність виникнення інцидентів, аварійних ситуацій на підприємствах хімічного комплексу щороку зростає та віддзеркалюється рівнем виробничого травматизму. За рівнем ризику загального травматизму хімічний комплекс займає 14 місце серед інших галузей економіки. Хоча в останні роки спостерігається зниження рівня травмованих на виробництві, але все ж таки проблема виробничого травматизму в галузі залишається гострою та потребує підвищеної уваги. Викликає занепокоєння той факт, що останнім часом зростає тяжкість нещасних випадків: відносний показник втрати працездатності в 2011 році на підприємствах хімічного комплексу на одного травмованого (коефіцієнт тяжкості) зріс на 21 % порівняно з попереднім роком. Залишається високим показник працюючих у шкідливих та особливо шкідливих умовах праці. Так, у хімічному комплексі в умовах, що не відповідали санітарно-гігієнічним нормативам, в 2011 році працювало 61,2 тис. осіб, з них 31,5 тис. осіб на нафтопереробних підприємствах та 39,5 % – на хімічних [2].

**Аналіз досліджень і публікацій.** З метою попередження надзвичайних ситуацій та планування запобіжних заходів оперативного реагування на підприємствах хімічного комплексу проводиться прогнозне оцінювання ризику виникнення аварій та інших джерел небезпек на основі імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) з використанням логіко-імітаційних моделей. Цій проблемі присвячено багато публікацій у вітчизняних та іноземних виданнях. Методологічні та теоретичні аспекти кількісного оцінювання ризику аварій на об'єктах хімічної промисловості та небезпечних промислових об'єктах нафтогазового комплексу з визначенням ймовірностей виходу вражаючих факторів за межі санітарно-захисних зон, а

також наслідки їх впливу на населення та навколишнє середовище представлено в роботах М.В. Лисанова, С.М. Ликова, А.І. Гражданкіна, А.С. Печеркіна, В.І. Сидорова, Ю.Г. Матвієнко, [3] та Є.А. Грановського, В.В. Бегуна, В.М. Науменко [4; 5]. Кожен із зазначених авторів висвітлює різні аспекти цієї проблематики.

**Виділення невирішених питань.** Однією з передумов виникнення аварій та аварійних ситуацій на підприємствах хімічного комплексу є ланцюг причинно-обумовлених подій, пов'язаних з помилками, несанкціонованими діями працюючих, відмовами та несправностями обладнання, які порушують функціонування системи «людина-машина-середовище». Активним компонентом такої системи є працівник, помилкові дії якого можуть призвести до виникнення аварійної ситуації або нещасного випадку. Оскільки небезпечні події причинно-обумовлені, необхідно прогнозувати та оцінювати ступінь невизначеності, яка закладена в умовах появи нещасних випадків на виробництві. Однак кількісне оцінювання ступеня випадковості виникнення нещасних випадків недостатньо досліджене.

**Мета статті.** Метою роботи є прогнозування ймовірності виникнення нещасних випадків з тяжким та смертельним наслідками на підприємствах хімічного комплексу з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірності.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз виробничого травматизму показує, що нещасні випадки стаються у випадкові моменти часу і їх можна представляти як послідовність однорідних випадкових подій. Оскільки травматизм має масовий характер, випадкові значення його показників можуть бути досліджені методами математичної статистики та теорії ймовірності, згладжені і виражені певною функціональною залежністю лінійною, експоненціальною. Використання ймовірнісних методів прогнозування травматизму дозволяє отримати кількісну оцінку міри випадковості виникнення нещасного випадку.

Хімічне виробництво характеризується великою різноманітністю технологічних процесів, виробничих операцій та, відповідно, великою кількістю небезпечних ситуацій ( $m \rightarrow \infty$ ). Ймовірність виникнення небезпечної події, що призведе до нещасного випадку в кожній небезпечній ситуації, дуже мала ( $P \rightarrow 0$ ). Тому суму деякої кількості подій  $\square$ , що призводять до травмування працівників за певний проміжок часу  $t$  (тиждень, місяць, квартал тощо), можна розглядати як потік найпростіших випадкових подій, які послідовно відбуваються у випадкові моменти часу. Такий найпростіший (пуассонівський) потік подій (нешасних випадків) має три властивості: стаціонарність, відсутність наслідків та ординарність. Стаціонарність означає, що ймовірність появи  $n$  нещасних випадків у будь-який проміжок часу не залежить від того, відбувались чи не відбувались нещасні випадки до початку спостереження, а залежить тільки від значення  $n$  та довгочасності (тривалості) інтервалу спостереження. Відсутність наслідків означає, що ймовірність появи нещасних випадків не визначається тим, скільки їх сталося у попередній період, тобто нещасні випадки виникають незалежно один від одного. Ординарність означає, що ймовірність появи двох або більше нещасних випадків у дуже стислі проміжки часу мала (її значенням можна знехтувати) порівняно з ймовірністю появи тільки одного нещасного випадку. Відповідно процес виникнення нещасних випадків з достатньою для практики точністю можна прийняти стаціонарним.

Якщо розглядати послідовність нещасних випадків як найпростіший потік подій (потік нещасних випадків), то є підстава вважати, що нещасні випадки на хімічних комплексах відносяться до «рідких подій», ймовірність виникнення яких підпорядковується закону Пуассона (1). При цьому пуассонівський розподіл є статистичною моделлю, що описує число нещасних випадків, що виникають у фіксованому інтервалі часу.

$$P_n(n) = \frac{(t\lambda)^n e^{-\lambda t}}{n!}, \quad (1)$$

де  $P_n$  – імовірність того, що на підприємствах хімічного комплексу за проміжок часу  $t$  станеться  $n$  нещасних випадків;

$\lambda$  – інтенсивність травматизму, тобто середня кількість нещасних випадків, що може статись за одиницю часу або їх математичне очікування.

Для перевірки гіпотези пуассонівського розподілу нещасних випадків використовували фактичні статистичні дані щодо нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу за 2007-2011 рр. Аналіз взаємозв'язку теоретичного та фактичного розподілу нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу було проведено в такій послідовності:

- встановлено загальну кількість нещасних випадків у досліджуваному періоді часу, яка становила 168 осіб;

- проведено вибірку нещасних випадків за кожний місяць зазначеного інтервалу та отримано 12 періодів з різною кількістю нещасних випадків;

- визначено вибірккову середню за формулою (2):

$$\bar{x}_e = \sum_{i=1}^k \frac{f_i x_i}{n}; \quad (2)$$

- визначено інтенсивність травматизму за формулою:

$$\lambda = \bar{x}_e = \sum_{i=1}^k \frac{f_i x_i}{n} = \frac{168}{60} = 2,8; \quad (3)$$

- розраховано теоретичні частоти настання нещасних випадків (табл. 1).

Таблиця 1

Теоретичний та дослідний розподіл нещасних випадків

Період, $t$	Частота нещасних випадків, $f$	Дослідна частота, $ft$	Дослідна ймовірність нещасного випадку, $P_n$	Теоретична ймовірність нещасного випадку, $P_n'$	Теоретична частота, $f'$
0	12	0	0,200	0,0608	3,6486
1	10	10	0,167	0,1703	10,216
2	10	20	0,167	0,2384	14,3025
3	10	30	0,167	0,2225	13,3490
4	6	24	0,100	0,1557	9,3443
5	4	20	0,067	0,0872	5,2328
6	3	18	0,050	0,0407	2,4420
7	1	7	0,017	0,0163	0,9768
8	0	0	0,000	0,0057	0,3419
9	2	18	0,033	0,0018	0,1064
10	1	10	0,017	0,0005	0,0298
11	1	11	0,017	0,0001	0,0076
$\Sigma$	60	168	1,000	0,99996	59,9978

Для перевірки достовірності прийнятої гіпотези щодо відповідності емпіричного розподілу, передбачуваному теоретичному розподілу  $F(x)$ , визначили критерій одностайності Пірсона ( $\chi^2$ ) (4). При розрахунку критерію Пірсона дотримувались відповідних вимог: кількість спостережень  $n > 50$ , а інтервали, в яких теоретичні частоти менше 5, об'єднали в одну групу таким чином, щоб їх сумарне значення було більше 5 (табл. 2). Ступінь розходження теоретичних та емпіричних частот оцінимо за критерієм одностайності Пірсона [6]:

$$\chi^2 = \frac{(f_i - \hat{f}_i)^2}{f_i'}, \quad (4)$$

де  $f_i$  і  $f_i'$  – відповідно частоти емпіричного і теоретичного розподілу в інтервалі.

Таблиця 2

## Розрахунок критерію одностайності Пірсона

Кількість груп вибірки	Емпіричні частоти $f_i$	Теоретичні частоти, $f_i'$	$f_i - f_i'$	$\frac{(f_i - f_i')^2}{f_i'}$
1	22	13,86	66,18	4,77
2	10	14,30	18,51	1,29
3	10	13,35	11,22	0,84
4	6	9,34	11,18	1,20
5	4	5,23	1,52	0,29
6	8	3,90	16,77	4,30
$\Sigma$	60	60,00	125,39	12,69

Відповідно до даних таблиці квантилей  $\chi^2$  за заданим рівнем значимості  $\alpha = 0,01$  та ступенем свободи  $(6-2 = 4)$  визначаємо  $\chi_{\text{теор.}}^2 = 13,2767$  [7]. У зв'язку з тим, що  $\chi_{\text{розра.}}^2 = 12,69 < 13,2767$ , то є підстава для прийняття гіпотези щодо відповідності розподілу нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками в хімічному комплексі закону Пуассона з параметром  $\square = 2,8$ . Відхилення емпіричного розподілу від пуассонівського може спостерігатись у разі суттєвих змін технологічного процесу або у разі невірогідних статистичних даних. Під час підвищення поточного значення параметра  $\square$  спостерігається зниження рівня безпеки праці, що потребує своєчасного вжиття відповідних заходів.

Імовірність того, що на підприємствах хімічного комплексу не виникне нещасний випадок, дорівнює  $p_0 = 0,0608$ . Відповідно, ймовірність виникнення нещасного випадку в зазначеному часовому інтервалі становить  $p = 1 - p_0 = 0,9392$ . Імовірність виникнення нещасних випадків та безпечної роботи протягом заданого періоду часу, а також середній час роботи без травм служать кількісними критеріями оцінювання травмонебезпечності виробництва.

**Висновки.** Аналіз статистичних даних та теоретичні дослідження показали, що розподіл нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу описується законом Пуассона. Запропоновано використання статистичної моделі ймовірнісного розподілу Пуассона для прогнозування травматизму на підприємствах хімічного комплексу. Для класифікації підприємств за рівнем ризику пропонується визначення травмонебезпечності підприємств галузі залежно від рівня небезпечності обладнання, технологічних процесів тощо.

## Список використаних джерел

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки : Закон України від 18.01.2001 № 2245-III.
2. Стан умов праці найманих працівників у 2011 році [Електронний ресурс] : Статистичний бюлетень. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Анализ риска газонаполнительных станций / С. М. Лыков, А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 8. – С. 25-30.
4. 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.
5. Бегун В. В. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) / В. В. Бегун, І. М. Науменко. – К., 2004.

6. *Грановский Е. А.* Моделирование техногенных аварий и чрезвычайных ситуаций при разработке деклараций безопасности и другой документации по промышленной безопасности / Е. А. Грановский // Декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки як засіб регулювання безпеки регіону (держави) : тези доповідей науково-методичного семінару. – К., 2007. – С. 31-36.

7. *Гурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гурман. – М. : Высшая школа, 1998. – 479 с.

8. *Теория статистики* : учебник / под ред. Р. А. Шмойловой. – 3-е изд., перераб. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 560 с.