

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПРОЕКТИВНОГО ГРАДІЄНТА ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ОХОРОНИ ПРАЦІ

*К. Н. Ткачук, докт. техн. наук, О. Є. Кружилко, канд. техн. наук (ННДІОП),  
О. І. Полукаров, Н. А. Праховнік, кандидати технічних наук (НТУУ „КПІ”)*

*Рассмотрены основные преимущества и недостатки применения регрессионного анализа для решения задач управления в отрасли охраны труда. Теоретически обоснована целесообразность использования метода проективного градиента для моделирования показателей состояния охраны труда предприятия.*

Традиційно для оцінки стану охорони праці (ОП) на підприємствах різних галузей використовуються окремі показники, що характеризують рівень травматизму, професійної захворюваності тощо. Такий підхід не дозволяє отримати комплексну оцінку стану ОП і приймати обґрунтовані управлінські рішення. Як наслідок, планування заходів, спрямованих на поліпшення стану охорони праці на підприємствах, відбувається з використанням найпростіших математичних моделей, які в переважній більшості випадків не дозволяють оцінити наслідки реалізації цих заходів. Тому при прийнятті управлінських рішень переважають суб'єктивні оцінки, які ґрунтуються на досвіді розв'язання аналогічних задач та інтуїції керівників і фахівців з охорони праці.

Питання комплексної оцінки стану ОП на підприємствах останнім часом пов'язане з використанням сучасних математичних методів, які застосовуються для моделювання відповідних показників. Аналіз наукових публікацій свідчить, що протягом останніх років методи статистичного (насамперед, регресійного) аналізу набули значного поширення для моделювання показників охорони праці [1–3]. Для застосування цього методу необхідно сформулювати масив статистичних даних у вигляді таблиці (табл. 1).

Таблиця 1. Масив статистичних даних для моделювання показника  $Y$

№ періоду	$X_1$	...	$X_n$	$Y$
1	$x_{11}$	...	$x_{n1}$	$y_1$
...	...	...	...	...
m	$x_{1m}$	...	$x_{nm}$	$y_m$

В результаті буде отримана математична модель показника  $Y$  у вигляді полінома:

$$Y = F(X) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} X_i X_j + \dots, \quad (1)$$

де  $Y$  – вихідна змінна (показник);  $X_i, X_j$  – вхідні змінні (чинники);  $a_0, a_i, a_{ij}$  – постійні коефіцієнти моделі;  $n$  – кількість чинників, що враховуються.

Незважаючи на переваги застосування регресійного аналізу, цей метод не дозволяє враховувати певні обмеження, що накладаються на постійні коефіцієнти математичних моделей. Це означає, що отримана за результатами обробки масивів статистичних даних математична модель не завжди може використовуватись для моделювання показника стану охорони праці, незважаючи навіть на високу точність апроксимації. Основна причина цього полягає у невідповідності математичного виразу отриманої моделі фізичному змісту впливу чинників на модельований показник.

Розглянемо це твердження на прикладі умовного підприємства. Нехай зібрані статистичні дані про стан окремих чинників (кількість нещасних випадків (НВ), кількість днів непрацездатності в результаті НВ, кількість виявлених та усунутих порушень нормативних актів з ОП) та одного з показників стану охорони праці, систематизовані по кварталах та занесені в таблицю (табл. 2).

Таблиця 2. Масив початкових даних, що характеризують стан охорони праці умовного підприємства

№ періоду	Кількість НВ $X_1$	Кількість днів непрацездатності $X_2$	Кількість порушень вимог нормативних актів з ОП (попередній період) $X_3$	Обсяги фінансування заходів з ОП, тис. грн (попередній період) $X_4$	Збитки з ОП $Y$ , тис. грн,
1	3	45	8	6,5	7,5
2	1	4	6	1,0	3,6
3	1	25	5	5,6	4,7
4	2	36	0	4,0	4,5
5	0	0	4	0,5	1,5
6	2	11	6	3,8	5,6

З використанням регресійного аналізу отримана математична модель, яка встановлює залежність збитків з ОП від чинників, що впливають:

$$Y = 1,01 + 1,34 \cdot X_1 - 0,02 \cdot X_2 + 0,12 \cdot X_3 + 0,39 \cdot X_4, \quad (2)$$

де  $X_1, X_2, X_3, X_4$  – чинники, що апроксимують відповідно кількість НВ, кількість днів непрацездатності, кількість порушень вимог нормативних актів з ОП, обсяги фінансування заходів з ОП (тис. грн).

Точність отриманої моделі, розрахована за коефіцієнтом множинної кореляції, становить 0,997. Проте, незважаючи на високу точність отриманої моделі, її використання буде проблематичним через невідповідність математичного змісту реальному впливу чинників на модельований показник. Проаналізуємо отриману модель і сформулюємо основні її недоліки.

По-перше, збільшення значення чинника  $X_2$ , який апроксимує кількість днів непрацездатності постраждалих в результаті НВ, викликає зменшення показника  $Y$ , який апроксимує збитки з ОП. Не викликає сумніву, що таке становище неможливе.

По-друге, збільшення значення чинника  $X_4$ , який апроксимує обсяги фінансування заходів з ОП, викликає збільшення показника  $Y$  (чим більше фінансуємо, тим більше втрачаємо), що не може відповідати дійсності.

По-третє, при моделюванні ситуації, коли підприємство не функціонує протягом якого-небудь періоду часу (тобто значення всіх чинників  $X_1, X_2, X_3, X_4$  дорівнюють нулю), показник  $Y$  прийме значення 1,01. Очевидно, що така ситуація також не може вважатися адекватною реальним умовам.

Отже, регресійний аналіз не може бути застосований як універсальний метод моделювання показників стану охорони праці, оскільки не дозволяє врахувати обмеження, що накладаються на величини постійних коефіцієнтів  $a_0, a_i, a_{ij}$  (див. формулу (1)).

Проведений аналіз дає змогу сформулювати основні вимоги до математичного апарату моделювання показників стану охорони праці. При розрахунку коефіцієнтів моделі  $a_0, a_i, a_{ij}$  повинні враховуватись обмеження, які накладаються на них відповідно до фізичної природи чинників. Для розглянутого прикладу такими обмеженнями буде система нерівностей

$$\begin{cases} a_0 = 0; \\ a_1, a_2, a_3 \geq 0; \\ a_4 \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Слід зауважити, що застосування регресійного аналізу не дозволяє врахувати сформульовані обмеження. Отже, для побудови математичних моделей, які б відповідали цим обмеженням, розроблено алгоритм метод проективного градієнта [4], адаптованого до розв'язання поставленої задачі. Основні етапи алгоритму розрахунків наведено на рис. 1.

В результаті розрахунків за методом проективного градієнта з використанням даних табл. 2 встановлено таку залежність показника збитків з ОП від множини чинників, що впливають:

$$Y = 0,74 \cdot X_1 + 0,07 \cdot X_2 + 0,41 \cdot X_3. \quad (4)$$

Згідно з отриманою моделлю можна стверджувати, що зростання чинників  $X_1, X_2, X_3$  приводить до зростання показника  $Y$ , що відповідає дійсності. Разом з тим чинник  $X_4$  не має істотного впливу на модельований показник. Це можна пояснити тим, що враховуючи особливості конкретного виробництва, достатньо своєчасно усувати виявлені порушення нормативних актів з охорони праці та реалізовувати інші працезохоронні заходи, які не завжди вимагають фінансування.



Рис. 1. Алгоритм методу проективного градієнта для моделювання показників стану охорони праці

Таким чином, можна стверджувати, що застосування методу проективного градієнта виправдане в тих випадках, коли є необхідні статистичні дані про стан охорони праці і можна визначити обмеження, що накладаються на постійні коефіцієнти моделі. Якщо при моделюванні враховується велика кількість чинників, а характер їх впливу на модельований показник не очевидний, то для обґрунтування визначення обмежень на постійні коефіцієнти моделі слід залучити експертів.

1. *Ступницька Н. В.* Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.26.01. – К., 1999. – 19 с.

2. *Ткачук С. П.* Использование аппарата математического моделирования в системе управления охраной труда // Охрана труда. – 1999. – № 5. – С. 37–38.

3. *Кружилко О. Є., Полукаров Ю. О., Майстренко В. В.* Методика застосування регресійного аналізу для моделювання показників умов праці зварювального виробництва // Вісник ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ. – 2004. – Вип. IV (31). – Т. II. – С. 197–204.

4. *Линейное и нелинейное программирование* / И. Н. Ляшенко, Э. А. Карагодова, Н. В. Чернигова, Н. З. Шор. – К.: Высшая школа, 1975. – 372 с.