

О. В. Євтушенко, канд. техн. наук (Національний університет харчових технологій),
Л. А. Сербінова, канд. техн. наук (ДУ «ННДПБОП»)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ, ХАРАКТЕРНИХ ДЛЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ В ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗІ

У статті розглянуто та проаналізовано методи, що традиційно використовуються для аналізу статистичних даних виробничого травматизму. Запропоновано для визначення причинно-наслідкових зв'язків у процесі травмування в харчовій промисловості використовувати комбінований метод головних компонент і регресійного аналізу на головних компонентах.

Ключові слова: виробничий травматизм, причинно-наслідкові зв'язки, фактори, аналіз, модель.

В статье рассмотрены и проанализированы методы, которые традиционно используются для анализа статистических данных производственного травматизма. Для определения причинно-следственных связей в процессе травмирования в пищевой промышленности предложено использовать комбинированный метод главных компонент и регрессионного анализа на главных компонентах.

Ключевые слова: производственный травматизм, причинно-следственные связи, факторы, анализ, модель.

The article reviews and analyzes methods that are traditionally used for statistical analysis of occupational injuries. Proposed for the definition of causation of injury in the food industry to use the combined method of principal component regression and principal components analysis.

Keywords: injuries, causal relationships, factors, analysis, model.

Вступ. Питання виявлення статистичних показників, що характеризують вплив зовнішніх причин на виробничий травматизм, наразі залишається практично відкритим. Зумовлено це тим, що методи, які традиційно використовуються для аналізу травматизму, не дозволяють всебічно досліджувати причини цього небажаного явища.

Для дослідження причинно-наслідкових зв'язків у процесі травмування потрібні принципово інші методи, які дозволяли б виконувати кількісний комплексний аналіз статистичної інформації та забезпечували б виявлення та оцінювання зовнішніх причин виробничого травматизму.

Метою роботи є удосконалення методу дослідження причинно-наслідкових зв'язків, характерних для процесів травмування на підприємствах харчової промисловості.

Об'єктом дослідження є явище виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ознайомлення з методами багатовимірною статистичного аналізу показало, що для розв'язання поставленого завдання найбільш відповідними є методи компонентного та факторного аналізу в поєднанні з традиційним регресійним аналізом.

Суть таких методів полягає у тому, що вони дозволяють у явній формі виділяти загальні внутрішні фактори, що характеризують стан об'єкта досліджень [1–12]. Такі фактори є прихованими внутрішніми змінними, що не визначаються безпосередньо, а проявляють себе через зв'язки між параметрами чи показниками, які можна виміряти.

Обмеження та передумови застосування факторного та компонентного аналізу в практиці досліджень такі [2–4, 8]:

1. Вхідний набір змінних x_i є рівноправним щодо причинно-наслідкових зв'язків, тобто зміни вхідних статистичних показників спричиняються впливом певних загальних і специфічних факторів. Прямий причинно-наслідковий зв'язок між компонентами вектора \vec{x} відсутній. Недотримання цього обмеження викликає значні труднощі інтерпретації загальних факторів (компонент).

2. Досліджуваний масив статистичних даних має підпорядковуватися багатовимірному нормальному закону розподілу. На практиці припускається обмежуватися аналізом на відповідність нормальному розподілу одновимірних вибірок. Використання методів максимальної правдоподібності та центроїдного методу для обчислення факторних навантажень можливе при значних відхиленнях вихідних даних від закону нормального розподілу.

3. Специфічні фактори некорельовані як між собою, так і з загальними факторами.

4. Кількість загальних факторів має бути невеликою. Максимально допустиму кількість загальних факторів можна визначити з такого співвідношення $(n_n + k_\phi) < (n_n - k_\phi)^2$, де n_n – кількість вихідних показників; k_ϕ – кількість загальних факторів, що найбільш повно відображають поведінку явища чи процесу, що визначаються.

5. Зв'язок змінних (показників, параметрів) із загальними і специфічними факторами має лінійний характер (стосовно факторних навантажень).

6. Коваріаційна (кореляційна) матриця вихідного масиву показників має властивість стійкості від вибірки до вибірки.

7. Обсяг вибірки вхідних даних має вибиратися з урахуванням умови отримання надійних оцінок для елементів кореляційної матриці.

8. У вхідних даних має бути відсутня автокореляція, оскільки це скорочує ефективний обсяг вибірки та не дозволяє застосовувати перевірку статистичних гіпотез і оцінювати довірчі інтервали (автокореляція суттєво впливає на форму закону розподілу вибірових оцінок).

Дотримуватися наведених обмежень та передумов не завжди можливо. У разі відхилень від них результатом факторного аналізу може бути лише стислий опис вхідної інформації, що є також корисним.

Вхідна інформація для факторного аналізу може подаватися у вигляді так званої дво- або тривимірної матриці експериментальних даних [4, 9]:

1. Об'єкти досліджень (територіальні одиниці, галузі, види нагляду, підприємства, структурні підрозділи, окремі особи).

2. Параметри (статистичні або вимірювані показники), що характеризують стан досліджуваних об'єктів.

3. Ситуації (умови, в яких перебувають об'єкти досліджень, повторні вимірювання).

На основі інформації, що міститься в такій матриці, факторний аналіз дозволяє виконувати оцінювання зв'язків між вхідними даними у шести напрямках відповідно до чого виділяються шість різновидів факторного або компонентного аналізу (*R, Q, P, O, S, T - техніки*) [4, 9].

Серед задач, які розв'язуються на основі факторного аналізу, в аспекті дослідження причин виробничого травматизму найбільш цікавими є такі задачі: причинного аналізу взаємозв'язків, визначення узагальнюючих показників та аналізу прихованих процесів.

Рівняння регресії, яке можна отримати з використанням факторного аналізу, має вигляд [9]:

$$x_i = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{i-1}x_{i-1} + a_{i+1}x_{i+1} + \dots + a_nx_n. \quad (1)$$

Коефіцієнти цього рівняння визначаються з моделі факторного аналізу

$$x_i = l_{i1}f_1 + l_{i2}f_2 + \dots + l_{in}f_n + e \quad (2)$$

таким чином, що замість f_r ($r = 1, 2, \dots, n$), їх вирази через початкові (вихідні) змінні:

$$f_r = c_{r1}x_1 + c_{r2}x_2 + \dots + c_{rn}x_n. \quad (3)$$

Після перетворень отримуємо вираз для регресії факторного аналізу:

$$x_i = \frac{\sum_{r=1}^k l_{ir}c_{r1}}{1 - \sum_{r=1}^k l_{ir}c_{ri}} x_1 + \frac{\sum_{r=1}^k l_{ir}c_{r2}}{1 - \sum_{r=1}^k l_{ir}c_{ri}} x_2 + \dots + \frac{\sum_{r=1}^k l_{ir}c_{rn}}{1 - \sum_{r=1}^k l_{ir}c_{ri}}. \quad (4)$$

Для зменшення обсягів обчислень можна застосовувати процедуру обернення факторів та домогтися того, щоб факторні навантаження на залежну змінну x_i , крім одного дорівнювали нулю, тобто – поведінка залежної змінної пояснювалася б лише одним загальним фактором. У цьому разі матимемо рівняння регресії у вигляді:

$$x_i = \frac{l_{i1}c_{11}}{1-l_{i1}c_{1i}}x_1 + \frac{l_{i1}c_{12}}{1-l_{i1}c_{1i}} + \dots + \frac{l_{i1}c_{1n}}{1-l_{i1}c_{1i}}, \quad (5)$$

де $c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n}$ – коефіцієнти рівняння першого фактора після обертання.

Такий підхід щодо отримання рівняння регресії одного вихідного показника від інших застосовується для прогнозування окремих важливих, з погляду функціонування об'єкта досліджень показників, які не можуть постійно контролюватися (вимірюватися).

Для пасивного експерименту, яким і є аналіз даних офіційної статистики, характерна наявність сильнокорельованих між собою показників, що окрім цього були виміряні із суттєвими помилками. Корельованість вихідних статистичних даних зумовлює погану обумовленість системи нормальних рівнянь для визначення коефіцієнтів регресії, а наявність помилок при визначенні вихідних показників викликає зміщення оцінок. Факторний аналіз дозволяє уникнути наведених недоліків.

Комбінований метод головних компонент і регресійного аналізу на головних компонентах. Вперше регресійну модель на головних компонентах було використано для дослідження економічних показників [7]. У цій моделі використовується та особливість головних компонент, що вони статистично незалежні одна від одної. А це, як відомо [1], є однією з головних умов успішного застосування регресійного аналізу.

Лінійна модель регресії на головних компонентах має вигляд:

$$R = b_0 + b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_kY_k + \varepsilon_k, \quad (6)$$

де R – залежний показник чи характеристика процесу, явища, що підлягає дослідженню;

Y_k – значення перших головних компонент для об'єктів досліджень;

$k = 1, 2, 3, \dots, p$; $b_0 \dots b_k$ – коефіцієнти рівняння регресії;

ε_k – нормально розподілена випадкова величина з нульовим середнім і дисперсією.

Коефіцієнти рівняння регресії (6) визначаються з використанням стандартної процедури регресійного аналізу. При цьому числові значення незалежних змінних Y_k розраховуються для кожного об'єкта досліджень або для кожного виміру вибірок вхідних показників. Значення залежної змінної R приймається виходячи із завдань досліджень та наявності

числової інформації також згідно з виділеними для незалежних показників (головних компонент) об'єктами аналізу.

Оцінка точності моделі та значимості її коефіцієнтів виконується, як і в звичайному регресійному аналізі, за допомогою F і t критеріїв відповідно.

Використовуючи властивість, що головні компоненти статистично незалежні, є можливість роздільної оцінки внеску кожної компоненти у регресійну модель. Цей внесок вимірюється як відношення дисперсії, що пояснюється j -ю головною компонентою, до сумарної дисперсії моделі [7]:

$$\pi_j = \frac{\lambda_j b_j^2}{\sum_{j=1}^r \lambda_j b_j^2}. \quad (7)$$

Відповідно до цієї величини оцінюється вплив кожної компоненти на зміни досліджуваного показника R .

Отже метод головних компонент або компонентний аналіз є тим інструментом, за допомогою якого можна досліджувати великі багатовимірні масиви статистичної інформації. При цьому результати застосування методу для аналізу статистичної інформації, що стосується профілактики виробничого травматизму, дозволять отримати відповіді на ті питання, які сьогодні навіть не ставляться. Зокрема, компонентний аналіз дозволяє виявляти приховані (латентні) причини виробничого травматизму, класифікувати об'єкти аналізу за узагальнюючими значеннями характеристик, отриманих із використанням результатів компонентного аналізу, будувати надійні регресійні моделі ризику травмування залежно не лише від явних причин виробничого травматизму, а й від прихованих.

Висновки. Питання виявлення статистичних показників, що характеризують вплив зовнішніх причин на виробничий травматизм, на цей час залишається не вирішеним. Методи, що традиційно використовуються для аналізу травматизму, не дозволяють всебічно досліджувати причини цього явища. Для дослідження причинно-наслідкових зв'язків у процесі травмування в харчовій промисловості найбільш доцільним є комбіноване використання методів компонентного та факторного аналізу в поєднанні з традиційним регресійним аналізом.

Список літератури

1. Білостоцька В. О. Аналіз потенціалу профілактичної діяльності в системі соціального страхування від нещасних випадків на виробництві / В. О. Білостоцька, А. О. Водяник, О. В. Малихін // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – К.: НДІОП, 2003, № 3. – С. 12-14.

2. Водяник А. О. Компонентний аналіз причин виробничого травматизму // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво»: збірник наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2004. – Вип. 10. – С. 115–123.
3. Водяник А. О. Теоретичні узагальнення щодо механізмів виникнення нещасних випадків на виробництві / А. О. Водяник // Проблеми охорони праці в Україні: збірник наук. праць. – К.: ННДІОП, 2004. – Вип. 8. – С. 8–20.
4. Водяник А. О. Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.26.01 / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – К., 2008. – 38 с.
5. Євтушенко О. В. Аналіз статистики виробничого травматизму в харчовій промисловості України / О. В. Євтушенко // Харчова промисловість. – 2011. – Вип. 10. – С. 169–174.
6. Євтушенко О. В. Причини, джерела і обставини виробничого травматизму в м'ясній промисловості України / О. В. Євтушенко // Харчова промисловість. – 2012. – Вип. 13. – С. 158–164.
7. Методичні рекомендації по визначенню напрямків ефективного вкладення коштів в охорону праці на підприємстві / С. П. Ткачук, Г. Г. Лесенко, К. Н. Ткачук, І. А. Лучко, А. О. Водяник. – К.: Основа, 1999. – 80 с.
8. Шапошникова С. В. Удосконалення методів аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму на металургійних підприємствах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / С. В. Шапошникова. – К., 2008. – 25 с.
9. Елисеєва І. І. Практикум по общей теории статистики: учебное пособие / І. І. Елисеєва, Н. А. Флуд, М. М. Юзбашев; под ред. І. І. Елисеєвой. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 512 с.
10. Евтушенко О. В. Исследование производственного травматизма со смертельным исходом в пищевой промышленности Украины / А. Е. Водяник, О. В. Евтушенко // Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. – 2012. – Вып. 42, т. 1. – С. 408–414.
11. Evtushenko O. Exploration of occupational injuries in food industry of Ukraine / O. Evtushenko, I. Klepikov // Ukrainian journal of food science. – 2013. – Vol. 1, Issue 1. – P. 49–55.
12. Evtushenko O. Status of work accidents in food industry of Ukraine / O. Evtushenko, I. Klepikov // The second north and east european congress on food, May 26-29, 2013. – NUFT, Kyiv, Ukraine. – 2013. – P. 114.

*Дата подання статті до збірника – 24.04.2014
Рецензент – докт. біол. наук, проф, О. В. Карпов (НУХТ)*