

## КОМПОНЕНТНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

*А. О. Водяник, докторант (ННДІОП)*

*Приведены результаты анализа статистики причин смертельного травматизма на производстве с использованием метода главных компонент. Получены уравнения трех главных компонент и выявлены причины, влияющие на эти компоненты. Предложена регрессионная зависимость риска травмирования от главных компонент, которая может быть основой математической модели несчастного случая на производстве.*

Для ефективного управління охороною праці, вибору та застосування надійних і доступних заходів і засобів профілактики нещасних випадків на виробництві необхідно знати, які фактори, причини та джерела небезпек можуть викликати в конкретних умовах, на певному робочому місці (дільниці, підприємстві, в галузі чи державі загалом) травмування працівника. Тому проблема виявлення, аналізу та оцінювання причинно-наслідкових зв'язків у процесі травмування, особливо з використанням кількісних характеристик, залишається однією з найбільш актуальних як для наукових досліджень в охороні праці, так і для практики управління безпекою праці та виробничого середовища.

На цей час відомо багато теорій, моделей, концепцій, спрямованих на пояснення природи виробничого травматизму та визначення способів усунення або зменшення ризику травмування на виробництві [1–7]. Проте жодна з них не визнана універсальною, придатною для розв'язання всіх завдань охорони праці. Крім того, жодне з відомих узагальнень не є теорією чи моделлю у строгому розумінні цих понять. Можна констатувати, що теоретичні узагальнення про головний об'єкт досліджень науки і практики управління охороною праці – виробничий травматизм – далекі від завершення.

На практиці аналіз виробничого травматизму виконується за допомогою трьох основних груп методів: статистичного, топографічного та методів поглибленого аналізу [6]. Більш пізні вітчизняні публікації дещо розширюють методичну базу аналізу [7] (груповий метод аналізу для виділення однорідних груп травм, морфологічний аналіз тощо). Проте суть залишається тією ж – аналізується в основному статистика травматизму з урахуванням, у кращому випадку, небезпечних виробничих факторів (на суб'єктивному рівні), що можуть призвести до нещасного випадку.

Для полегшення аналізу причин травматизму вводяться уніфіковані класифікації причин травматизму, зокрема в 1973 р. була впроваджена державна обов'язкова статистична форма звітності підприємств про виробничий травматизм (№ 7-т, а потім № 7-тнв) [6, с. 201]. Проте класифікації причин травматизму у цих формах часто змінювалися, що зменшує цінність накопиченої

інформації. Діюча на цей час класифікація подана в табл. 1. Наведений у цій таблиці перелік статистичних даних є практично єдиним офіційним джерелом для узагальнених оцінок причин виробничого травматизму в Україні. Проте через недосконалість методів оцінки цих даних інформаційний потенціал їх використовується далеко не повністю.

Таблиця 1. Діюча класифікація видів подій та причин, що призводять до травмування на виробництві

Найменування	Умовні позначення
Види подій	
Дорожньо-транспортні пригоди	B <sub>1</sub>
Падіння потерпілого	B <sub>2</sub>
У тому числі з висоти	B <sub>3</sub>
Падіння предметів, матеріалів, породи, ґрунту	B <sub>4</sub>
Деталі, що рухаються, розлітаються, обертаються	B <sub>5</sub>
Ураження електричним струмом	B <sub>6</sub>
Дія шкідливих та токсичних речовин	B <sub>7</sub>
Дія іонізуючих випромінювань	B <sub>8</sub>
Нервово-психічні перевантаження	B <sub>9</sub>
Контакт з тваринами, комахами, іншим	B <sub>10</sub>
Утоплення	B <sub>11</sub>
Навмисне вбивство	B <sub>12</sub>
Стихійне лихо	B <sub>13</sub>
Пожежі	B <sub>14</sub>
Інші види подій	B <sub>15</sub>
Причини нещасних випадків	
Конструктивні недоліки	П <sub>1</sub>
Недосконалість технологічних процесів	П <sub>2</sub>
Незадовільний технічний стан виробничих фондів	П <sub>3</sub>
Інші технічні причини	П <sub>4</sub>
Недоліки в навчанні	П <sub>5</sub>
Порушення режиму праці та відпочинку	П <sub>6</sub>
Недоліки у медичному обстеженні (профвідборі)	П <sub>7</sub>
Відсутність засобів індивідуального захисту	П <sub>8</sub>
Порушення технологічного процесу	П <sub>9</sub>
Порушення при експлуатації виробничих фондів	П <sub>10</sub>
Порушення правил дорожнього руху	П <sub>11</sub>
Порушення трудової та виробничої дисципліни	П <sub>12</sub>
Інші організаційні причини	П <sub>13</sub>
Алкогольне й наркотичне сп'яніння	П <sub>14</sub>
Інші психофізіологічні причини	П <sub>15</sub>
Інші причини	П <sub>16</sub>

Таким чином, теоретичні і прикладні розробки щодо природи виробничого травматизму та його причин не забезпечують сучасною методичною базою процес аналізу травматизму, особливо при переході до виявлення та оцінювання причин ризиків травмування.

Метою статті є дослідження можливостей зниження розмірності масиву статистичних даних, виявлення основних груп причин нещасних випадків на виробництві та визначення залежності ризику травмування від цих причин з використанням компонентного аналізу.

Зниження розмірності необхідне для візуалізації вихідних статистичних даних про причини травматизму і для полегшення розроблення та інтерпретації моделей, що базуються на статистиці травматизму. Для розв'язання цієї задачі пропонується застосувати метод головних компонент, який часто використовується зарубіжними й вітчизняними фахівцями в різноманітних економічних, соціально-політичних, соціологічних та психологічних дослідженнях [8, 9]. Крім того, методологія та методи компонентного аналізу застосовуються в екології, геології, інших прикладних дисциплінах для аналізу об'єктів і процесів, що характеризуються багатьма змінними величинами (показниками) [8, 9].

Ідея канонічного компонентного аналізу загалом полягає у виявленні таких допоміжних характеристик (компонент), які лінійно пов'язані з усіма вихідними показниками [8–11]. Для багатовимірного набору показників може бути лише кілька головних компонент, що значно спрощує їх аналіз. Визначення головних компонент дозволяє суттєво знизити вимірність ознакового простору і, що особливо важливо, з використанням рівнянь головних компонент можна досягти найкращого (у певному розумінні) прогнозу показників, на основі яких розраховані головні компоненти [8, с. 384]. Крім того, головні компоненти за своїми властивостями є ортогональними, тобто незалежними одна від одної, що при аналізі багатовимірних сильно корельованих вихідних даних дозволяє застосовувати регресійні моделі (без урахування мультиколінеарності) [8, с. 385].

Отже, у методі головних компонент  $m$  вихідних змінних  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$  замінюються їх  $p$  лінійними комбінаціями [8–11]:

$$Y_k = a_{1k} X_1 + a_{2k} X_2 + a_{3k} X_3 + \dots + a_{jk} X_j + \dots + a_{mk} X_m, \quad (1)$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots, p; j = 1, 2, 3, \dots, m$ .

Кількість  $p$  нових змінних, як правило, є значно меншою, ніж кількість  $m$  вихідних змінних. Коефіцієнти  $a_{jk}$  рівнянь (1) обчислюються за таких умов [11]:

1) сума дисперсій змінних  $Y_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, p$ ) дорівнює сумі дисперсій вихідних показників  $X_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ );

2) змінні  $Y_k$  упорядковують за мірою зменшення їх дисперсій;

3) всі  $Y_k$  взаємно незалежні.

Нові змінні  $Y_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, p$ ), що відповідають таким умовам, називаються головними компонентами.

Алгоритм визначення головних компонент має такий вигляд [11].

1. З використанням вихідних показників розраховується коваріаційна матриця  $S$  і вектор середніх значень  $\bar{x}$  цих показників;

2. Визначаються власні значення  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_j, \dots \lambda_m$  коваріаційної матриці, для чого розв'язується рівняння

$$|S - \lambda I| = 0, \quad (2)$$

де  $I$  – одинична матриця розміром  $m \times m$ .

Власні значення  $\lambda_j$  мають значення дисперсій головних компонент, їх розміщують в ряд від найбільшого до найменшого.

3. Обчислюються частки дисперсій головних компонент у їх сумі. Головні компоненти, частка внеску яких у суму дисперсій мала, виключаються з подальшого аналізу, використовуються лише  $p$  перших компонент.

4. Розраховуються коефіцієнти  $a_{jk}$  перших  $p$  власних векторів коваріаційної матриці. З використанням цих коефіцієнтів записується рівняння кожної з  $p$  компонент. Зокрема, для  $k$  головної компоненти рівняння набуває вигляду (1), але вихідні змінні центровані.

5. Розраховуються значення головних компонент для кожного об'єкта досліджень.

6. Виконується інтерпретація головних компонент з позицій об'єкта і завдань досліджень, а також здійснюється всебічний аналіз визначених компонент.

За наведеним алгоритмом виконано аналіз головних компонент причин ризиків травмування зі смертельними наслідками  $\Pi_i$ , де  $i$  – індекс причини виробничої травми ( $i = 1, 2, \dots, 16$ , див. табл. 1).

Оскільки останні зміни в класифікації причин виробничого травматизму відбулися у 1999 р., то аналізувалися вихідні значення ризиків травмування за 1999–2003 рр. Ризик травмування визначався за частотою  $\Pi_i = N_i / N_c$ , де  $N_i$  – кількість травмованих зі смертельним наслідком з  $i$ -тої причини;  $N_c$  – середньо-облікова кількість працюючих. Оскільки результати розрахунків за наведеною формулою дають значення ризиків в інтервалі 0,0000007–0,00001, то для полегшення сприйняття цифр їх звичайно множать на 100000 і показник ризику в цьому випадку інтерпретується як кількість загиблих на виробництві за рік на сто тисяч працюючих. У табл. 2 наведені значення ризиків за причинами травмування зі смертельним наслідком, отримані з аналізу офіційних статистичних даних (форма статистичної звітності № 7-тнв). Ці дані приймемо як вихідні для компонентного аналізу.

Таблиця 2. Ризики травмування зі смертельними наслідками за причинами нещасних випадків на виробництві

Роки	Загалом	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$	$\Pi_{10}$	$\Pi_{11}$	$\Pi_{12}$	$\Pi_{13}$	$\Pi_{14}$	$\Pi_{15}$	$\Pi_{16}$
1999	9,24	0,31	0,50	0,53	0,29	0,26	0,17	0,13	0,12	0,74	1,24	0,78	1,20	0,51	1,03	0,09	1,34
2001	10,47	0,47	0,43	0,49	0,47	0,21	0,12	0,06	0,17	1,00	1,33	0,69	1,29	0,98	0,92	0,09	1,76
2002	9,98	0,16	0,72	0,54	0,46	0,20	0,14	0,09	0,33	0,59	1,27	1,11	1,00	0,88	0,75	0,13	1,61
2003	9,44	0,28	0,49	0,39	0,38	0,20	0,07	0,04	0,35	0,84	1,36	1,24	1,29	0,62	0,64	0,14	1,10

За наведеним алгоритмом виконано розрахунки з використанням сервісних опцій програми Excel та ітераційного методу визначення власних значень і власних векторів коваріаційної матриці [11, с. 398–402]. Результати розрахунків наведені у табл. 3–5.

Таблиця 3. Коваріаційна матриця ризиків травмування за причинами нещасних випадків

	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>	П <sub>6</sub>	П <sub>7</sub>	П <sub>8</sub>	П <sub>9</sub>	П <sub>10</sub>	П <sub>11</sub>	П <sub>12</sub>	П <sub>13</sub>	П <sub>14</sub>	П <sub>15</sub>	П <sub>16</sub>
П <sub>1</sub>	<b>0,017</b>	-0,014	-0,002	0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,009	0,020	0,002	-0,025	0,014	0,008	0,011	-0,002	0,013
П <sub>2</sub>	-0,014	<b>0,015</b>	0,004	0,003	-0,001	0,001	0,001	0,008	-0,019	-0,003	0,016	-0,016	0,004	-0,007	0,001	0,005
П <sub>3</sub>	-0,002	0,004	<b>0,005</b>	0,000	0,001	0,003	0,002	-0,004	-0,006	-0,003	-0,009	-0,006	0,003	0,007	-0,001	0,013
П <sub>4</sub>	0,001	0,003	0,000	<b>0,007</b>	-0,002	-0,001	-0,002	0,005	0,002	0,002	0,003	-0,003	0,018	-0,007	0,001	0,016
П <sub>5</sub>	0,001	-0,001	0,001	-0,002	<b>0,001</b>	0,001	0,001	-0,003	0,000	-0,001	-0,004	0,001	-0,004	0,004	-0,001	-0,002
П <sub>6</sub>	0,000	0,001	0,003	-0,001	0,001	<b>0,002</b>	0,002	-0,004	-0,003	-0,002	-0,007	-0,003	-0,001	0,006	-0,001	0,005
П <sub>7</sub>	-0,001	0,001	0,002	-0,002	0,001	0,002	<b>0,001</b>	-0,002	-0,004	-0,002	-0,004	-0,002	-0,003	0,005	-0,001	0,001
П <sub>8</sub>	-0,009	0,008	-0,004	0,005	-0,003	-0,004	-0,002	<b>0,013</b>	-0,007	0,003	0,028	-0,005	0,004	-0,020	0,003	-0,010
П <sub>9</sub>	0,020	-0,019	-0,006	0,002	0,000	-0,003	-0,004	-0,007	<b>0,029</b>	0,006	-0,020	0,021	0,009	0,005	-0,001	0,006
П <sub>10</sub>	0,002	-0,003	-0,003	0,002	-0,001	-0,002	-0,002	0,003	0,006	<b>0,003</b>	0,005	0,004	0,003	-0,006	0,001	-0,003
П <sub>11</sub>	-0,025	0,016	-0,009	0,003	-0,004	-0,007	-0,004	0,028	-0,020	0,005	<b>0,069</b>	-0,010	-0,012	-0,042	0,007	-0,046
П <sub>12</sub>	0,014	-0,016	-0,006	-0,003	0,001	-0,003	-0,002	-0,005	0,021	0,004	-0,010	<b>0,018</b>	-0,006	0,003	-0,001	-0,012
П <sub>13</sub>	0,008	0,004	0,003	0,018	-0,004	-0,001	-0,003	0,004	0,009	0,003	-0,012	-0,006	<b>0,048</b>	-0,005	0,000	0,055
П <sub>14</sub>	0,011	-0,007	0,007	-0,007	0,004	0,006	0,005	-0,020	0,005	-0,006	-0,042	0,003	-0,005	<b>0,030</b>	-0,004	0,019
П <sub>15</sub>	-0,002	0,001	-0,001	0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,003	-0,001	0,001	0,007	-0,001	0,000	-0,004	<b>0,001</b>	-0,004
П <sub>16</sub>	0,013	0,005	0,013	0,016	-0,002	0,005	0,001	-0,010	0,006	-0,003	-0,046	-0,012	0,055	0,019	-0,004	<b>0,087</b>

Таблиця 4. Власні значення та перші три власні вектори коваріаційної матриці ризиків травмування за причинами нещасних випадків

Власні значення $\lambda_i$	Власний вектор для $\lambda_1 = 0,179306$	Власний вектор для $\lambda_1 = 0,104097$	Власний вектор для $\lambda_1 = 0,062863$
0,000193	0,211676	0,206159	0,25661
0,000124	-0,08356	-0,307231	-0,254257
0,000052	0,08534	-0,062277	-0,218079
0,000067	0,067897	-0,209172	0,168007
0,000015	0,008061	0,06904	-0,07407
0,000145	0,047885	0,016451	-0,15894
-0,000019	0,011753	0,022777	-0,144865
-0,000035	-0,18467	-0,231374	0,162744
-0,000073	0,174864	0,255107	0,512832
-0,000086	-0,02233	-0,003002	0,210763
-0,000105	-0,55268	-0,335831	0,189836
0,0002	0,02931	0,317072	0,35332
-0,000171	0,324532	-0,458535	0,338287
0,062863	0,276582	0,283236	-0,360104
0,104097	-0,04819	-0,039867	0,03338
0,179306	0,614967	-0,431178	-0,044525

З табл. 4 випливає, що виділяються три власні значення коваріаційної матриці (дисперсії головних компонентів), частки яких у сумі становлять:  $\lambda_1/\sum \lambda_i = 0,517$ ;  $\lambda_2/\sum \lambda_i = 0,300$ ;  $\lambda_3/\sum \lambda_i = 0,181$  (відповідно 51,7; 30,0 і 18,1%). Інші головні компоненти, частка внеску яких у суму дисперсій мала, виключаються з подальшого аналізу, використовуються лише три перші компоненти.

З використанням формули (1) та коефіцієнтів з табл. 4 рівняння першої головної компоненти записується у вигляді

$$Y_1 = 0,212\Pi_1 - 0,084\Pi_2 + 0,085\Pi_3 + 0,068\Pi_4 + 0,008\Pi_5 + 0,048\Pi_6 + 0,012\Pi_7 - \\ - 0,185\Pi_8 + 0,175\Pi_9 - 0,022\Pi_{10} - 0,553\Pi_{11} + 0,029\Pi_{12} + 0,325\Pi_{13} + 0,277\Pi_{14} - \\ - 0,048\Pi_{15} + 0,615\Pi_{16}. \quad (3)$$

Рівняння другої та третьої головних компонент отримуються аналогічно.

Для кожного рядка вихідних даних (див. табл. 2) розраховуються значення головних компонент і визначаються коефіцієнти кореляції між цими значеннями та ризиками з кожної причини травмування. Результати розрахунків наведені в табл. 5. Така процедура дозволяє виконувати інтерпретацію головних компонент за наборами вихідних показників.

Таблиця 5. Коефіцієнти кореляції головних компонент з вихідними показниками

Показник	Перша головна компонента	Друга головна компонента	Третя головна компонента
П <sub>1</sub>	0,263851	0,935165	0,236323
П <sub>2</sub>	-0,152082	-0,955993	0,250895
П <sub>3</sub>	0,724214	-0,516796	0,456548
П <sub>4</sub>	-0,515734	0,004852	0,856735
П <sub>5</sub>	0,850225	0,056582	-0,523369
П <sub>6</sub>	0,925267	-0,361448	0,115052
П <sub>7</sub>	0,842382	-0,507841	-0,180253
П <sub>8</sub>	-0,910806	-0,412786	-0,006405
П <sub>9</sub>	-0,076396	0,991271	0,107447
П <sub>10</sub>	-0,799517	0,59962	0,03504
П <sub>11</sub>	-0,80559	-0,481381	-0,345394
П <sub>12</sub>	-0,07506	0,938426	-0,337228
П <sub>13</sub>	-0,223788	0,119955	0,967228
П <sub>14</sub>	0,972641	0,22447	0,059848
П <sub>15</sub>	-0,899333	-0,393868	-0,189917
П <sub>16</sub>	0,306837	0,048469	0,950527

**Аналіз головних компонент.** Перша головна компонента визначається в основному такими дев'ятьма причинами (починаючи з причини, яка має найбільший коефіцієнт кореляції): алкогольне й наркотичне сп'яніння (П<sub>14</sub>), порушення режиму праці та відпочинку (П<sub>6</sub>), відсутність засобів індивідуального захисту (П<sub>8</sub>), інші психофізіологічні причини (П<sub>15</sub>), недоліки в навчанні (П<sub>5</sub>), недоліки у медичному обстеженні (профвідборі) (П<sub>7</sub>), порушення правил дорожнього руху (П<sub>11</sub>), порушення при експлуатації виробничих фондів (П<sub>10</sub>), незадовільний технічний стан виробничих фондів (П<sub>3</sub>). По своїй суті перша головна компонента відображає вплив на ризик травмування особистісного фактора та організаційної складової безпеки праці, тобто відображає ставлення до безпеки праці та виробничого середовища всіх учасників виробничого процесу (роботодавців, керівників різних рівнів, безпосередніх виконавців). Отже, перша головна компонента – це загроза травмування персоналу через недоліки в організації управління охороною праці на підприємстві.

Друга головна компонента включає чотири причини: порушення технологічного процесу (П<sub>9</sub>), недосконалість технологічних процесів (П<sub>2</sub>), порушення трудової та виробничої дисципліни (П<sub>12</sub>), конструктивні недоліки устаткування (П<sub>1</sub>). Таким чином, другу компоненту визначають в основному дві організаційні та дві технічні причини (у традиційному розумінні причин травматизму). Отже, поєднання конструктивних недоліків устаткування і недосконалості технологічних процесів з порушеннями при експлуатації

виробничого обладнання зумовлює другу за значущістю загрозу ризику травмування зі смертельним наслідком в Україні (другу головну компоненту).

Третя головна компонента – це інші організаційні причини ( $\Pi_{13}$ ), інші не ідентифіковані причини ( $\Pi_{16}$ ) та інші технічні причини ( $\Pi_4$ ). Взагалі при аналізі головних компонент можна було б обмежитися лише двома першими причинами, оскільки частка сумарної дисперсії вихідних показників, яку вони пояснюють, становить 81,7 %, а в компонентному аналізі рекомендують звертати увагу на компоненти, що охоплюють 75 % цієї дисперсії [10]. Проте третя головна компонента у нашому випадку цікава тим, що характеризує діючу класифікацію причин виробничого травматизму. Термін “інші причини” характеризує міру незнання нами реальних причин травматизму, що зумовлює недоліки класифікації і невміння у кожному конкретному випадку їх ідентифікувати, тому третя головна компонента показує, наскільки досконалою (інформативною) є діюча класифікація причин виробничого травматизму і методика визначення їх на місці події (травмування). Отже, третя головна компонента – це загроза травмування персоналу внаслідок неповного знання всіх можливих причин нещасних випадків на виробництві.

Таким чином, інтерпретація головних компонент ризиків травмування на виробництві в Україні загалом (1999–2003 рр.) дозволила виділити три головні комплекси причин нещасних випадків зі смертельним наслідком: недоліки в організації управління охороною праці на підприємстві (недосконалість організації безпечної взаємодії людини з технікою), недосконалість технічної складової виробництва (відсутність або недосконалість захисту від помилок і порушень при експлуатації), незнання всіх можливих причин нещасних випадків на виробництві (інформаційна складова безпеки праці).

Рівняння регресії між значеннями головних компонент (незалежних змінних) та загальним ризиком травмування зі смертельним наслідком має вигляд

$$R_{\text{заг}} = 7,0889 + 0,9610Y_1 - 0,9099Y_2 + 0,9675Y_3, \quad (4)$$

де  $R_{\text{заг}}$  – загальний для України ризик травмування зі смертельним наслідком,  $10^5$ ;  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  – перша, друга та третя головні компоненти.

Коефіцієнти регресії у рівнянні (4) характеризують відносний вплив кожної головної компоненти на ризик травмування зі смертельним наслідком в Україні [11]. Тому можна зробити висновок, що найбільший вплив на ризик нещасного випадку справляють перша  $Y_1$  та третя  $Y_3$  головні компоненти. Дещо менше впливає на ризик друга компонента  $Y_2$ .

Таким чином, у результаті компонентного аналізу статистичних даних про причини виробничого травматизму зі смертельним наслідком встановлено, що вся сукупність причин виробничого травматизму, які фіксуються офіційною статистикою, може бути охарактеризована трьома узагальнюючими факторами (головними компонентами). Отримано рівняння цих компонент, що дозволило визначити коефіцієнти кореляції між ними та ризиками травмування з вихідних причин нещасних випадків і виявити причини, які найбільш суттєво впливають на кожну компоненту. Інтерпретація головних компонент, на відміну від



традиційного поділу причин на технічні, організаційні, психофізіологічні та інші, показала, що на загальний ризик травмування зі смертельним наслідком впливають причини, викликані недоліками в організації управління охороною праці на підприємстві, недосконалістю технічної складової виробництва та іншими причинами, ідентифікація яких не передбачена діючою класифікацією. З використанням властивості ортогональності головних компонент отримано регресійну залежність ризику травмування з причин, які входять у головні компоненти. Система лінійних рівнянь, що включає рівняння (3), аналогічні рівняння для другої і третьої компонент, а також рівняння (4), може бути основою математичної моделі нещасного випадку зі смертельним наслідком, отриманої з аналізу статистики причин виробничого травматизму. Для доведення цієї моделі до логічного завершення необхідні додаткові детальні дослідження причин травматизму, які не фіксуються офіційною статистикою, зокрема прихованих та зумовлених зовнішнім середовищем. Перспективним для досліджень у цьому напрямку є широке застосування методів не лише компонентного, а й факторного аналізу, які дозволяють виявляти приховані причини та закономірності.

1. Шеннон Г., Девис Д. МІАМ: Мерсисайдская информационная модель несчастного случая / Энциклопедия по охране и безопасности труда. – М.: Министерство труда и социальной защиты, 2001, Т. 2. – С. 179.

2. Райф А. Теория причин возникновения несчастных случаев / Энциклопедия по охране и безопасности труда. – М.: Министерство труда и социальной защиты, 2001, Т. 2. – С. 173.

3. Белов П. Г. Моделирование опасных процессов в техносфере: Методическое пособие. – К.: КМУГА, 1999. – 124 с.

4. Клебанов Ф. С. О современной концепции безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 6. – С. 33–38.

5. *Охранология труда* / А. И. Амоша, Л. Я. Шило, В. Л. Шкригун и др. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2000. – 388 с.

6. Лесенко Г. В. Организация безопасности труда на производстве. – К.: Техника, 1989. – 232 с.

7. Протоєрейський О. С., Запорожець О. І. Основи охорони праці: Навч. посібник. – К.: НАУ, 2002. – 524 с.

8. *Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд.* / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков и др. / Под ред. С. А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

9. *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ.* / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка и др. / Под ред. И. С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

10. Качинський А. Б. Екологічна безпека України: аналіз, оцінка та державна політика. – К.: НДІС, 1997. – 127 с.

11. Черновський М. І. Математичні методи в геології. – Кривий Ріг: Мінерал, 2003. – 424 с.