

О.І. Богатов<sup>1</sup>, В.І. Заїченко<sup>2</sup>, П.А Білим<sup>2</sup>, А.С. Рогозін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

## ВИМОГИ ДО МОДЕЛЕЙ АНАЛІЗУ НЕБЕЗПЕКИ І РОЗРАХУНОК СТУПЕНЯ РИЗИКУ

На підставі статистичних даних сформульовані основні причини невисокого рівня організації охорони праці в Україні. Визначена необхідність розробки нових методів аналізу та моделювання умовної ймовірності виникнення виробничої травми, прийнятних для практичних інженерних розрахунків. На основі застосування ймовірнісного методу для моделювання умовної ймовірності ураження працівника при виконанні технологічних операцій проведено оцінку ймовірності виникнення нещасного випадку та розвитку різних варіантів небезпечних ситуацій.

**Ключові слова:** охорона праці, виробничий травматизм, виробниче середовище, нещасний випадок, ризик, небезпека, шкідливість, ймовірність.

### Постановка проблеми

В останні десятиліття в Україні формується правова база щодо попередження розвитку професійних та виробничих - обумовлених захворювань, зниження факторів ризику їх розвитку, а також визначення та лікування ранніх форм професійних захворювань. За даними Міжнародної організації праці [1], щорічно в світі фіксують близько 340 млн. нещасних випадків на виробництві та 160 млн. жертв професійних захворювань. Щороку з цих же причин гине 2,3 млн. людей.

У 2020 році в Україні було різке збільшення випадків виробничого травматизму – 6 тисяч 646, з них 393 – смертельні. Обсяг виплат Фонду соцстрахування склав 9,4 млрд. грн. Більшу частину цієї суми склали щомісячні страхові виплати в разі часткової чи повної втрати працездатності – 8 млрд. 836,5 млн. грн. На щомісячні страхові виплати сім'ям, які втратили годувальників, пішло 334 млн. грн. на допомогу з тимчасової непрацездатності че-

рез нещасний випадок або професійне захворювання – 138,1 млн. грн.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

За 11 місяців 2021 року через організаційні причини сталося 255 (понад 74%) смертельних нещасних випадків. На другому місці — 47 випадків через психофізичні, техногенні, природні, екологічні та соціальні причини (13,7%). На третьому — технічні причини (42 випадки, 12,2%) [2].

Держпраці також наводить дані про стан виробничого травматизму за останні три роки.

Основними причинами невисокого рівня організації охорони праці в Україні є [3]:

низький рівень кваліфікації, виробничої культури та технологічної дисципліни;

спрацьованість засобів виробництва; відсутність ефективного галузевого та регіонального управління охороною праці;

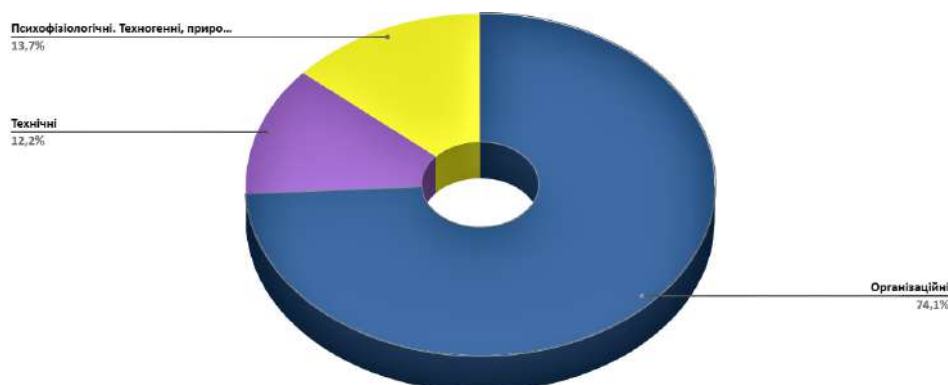


Рис.1. Причини нещасних випадків зі смертельним наслідком, пов'язаних з виробництвом, за 11 місяців 2021 року

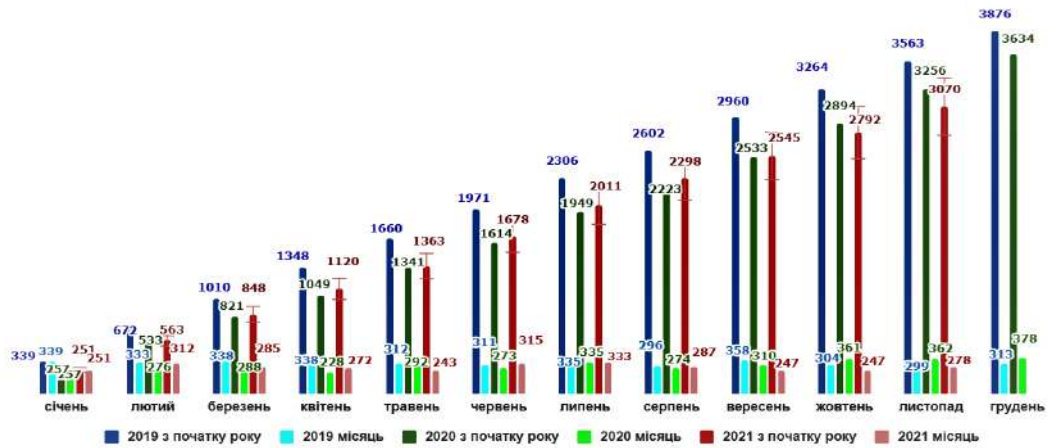


Рис. 2. Стан виробничого травматизму в Україні у 2019 – 2021 роках

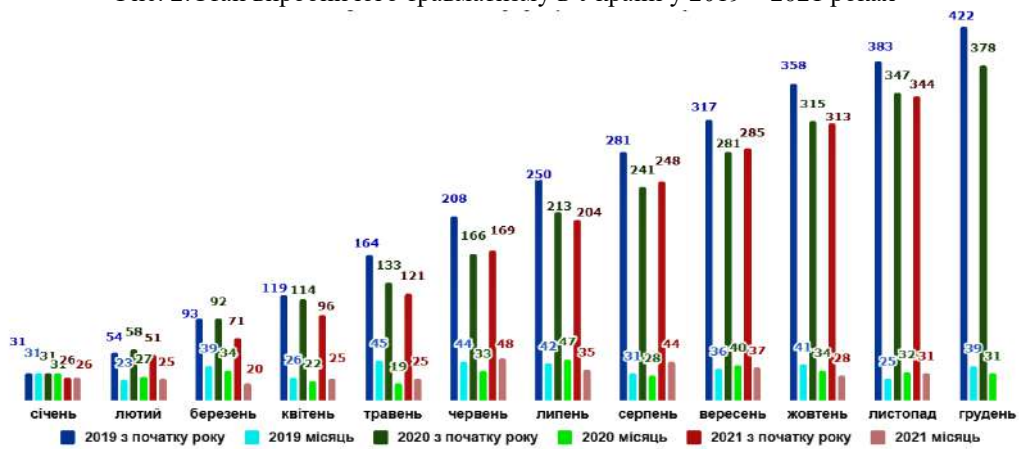


Рис. 3. Стан виробничого травматизму зі смертельним наслідком в Україні у 2019 – 2021 роки

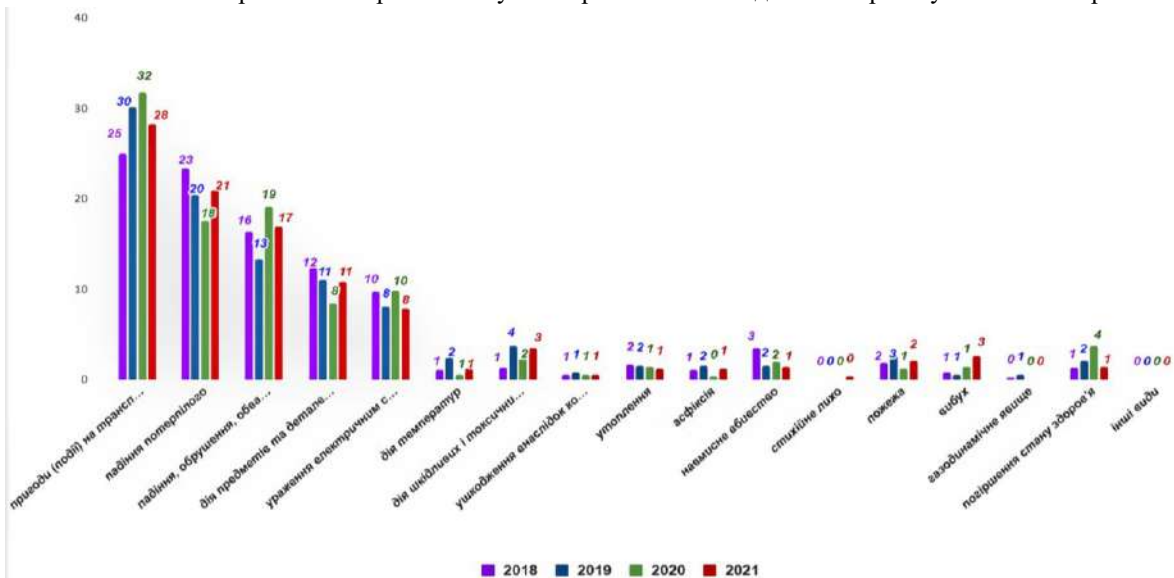


Рис. 4. Динаміка подій, що призвели до нещасних випадків зі смертельним наслідком за 11 місяців 2018-2021р.р. (% від загальної кількості загиблих)

відсутність достатніх інвестицій у виробництво та охорону праці;  
 неналежне фінансування роботодавцями заходів з охорони праці;

відсутність підготовки фахівців з охорони праці, низький рівень підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів з питань охорони праці;

хронічне недофінансування національних, галузевих, регіональних програм поліпшення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища;

відсутність на підприємствах чіткої організації охорони праці;

відсутність розробленої державної політики в галузі охорони праці і стимулюючої системи щодо безпечної праці;

неадекватне мислення і ставлення до питань безпеки учасників трудового і виробничо-технологічних процесів по вертикалі управління і виконання.

В умовах сьогодення система управління охороною праці має базуватися не тільки на заходах з боку держави, але й на зацікавленості суб'єктів трудових правовідносин у збереженні належного фізичного стану працівника, що нерозривно пов'язано з економічним і соціальним благополуччям як роботодавця так і найманих працівників.

### Формулювання мети статті

Отже, питання охорони праці складне і досить відповідальне. Адже за ним життя і здоров'я людей, які своєю працею створюють для держави та нації матеріальні блага. Як показує світовий досвід, безпека праці є основною гарантією стабільності, якості та ефективності будь-якого виробництва. До того ж відсутність нещасних випадків та зменшення професійної захворюваності позначається на професійній активності працюючих, на моральному кліматі в колективі, а отже і на ефективності та продуктивності праці, скорочує витрати на пільги та компенсації за роботу в шкідливих і небезпечних для здоров'я умовах.

Реальна оцінка ризику здоров'ю неможлива без достатньої інформаційної бази щодо кількісних та якісних характеристик факторів ризику та даних про стан здоров'я тих контингентів населення, які знають впливу цих факторів [4].

Формування кількісних показників ризику того чи іншого професійного захворювання протягом періоду впливу відповідного шкідливого виробничого фактора визначається не тільки інтенсивністю фактора, а й режимом його впливу, наявністю супутніх шкідливих факторів виробничого середовища, індивідуальних факторів ризику у експонованої особи (шкідливі звички, підвищена чутливість та ін.) [5]. У суспільстві зростає потенційна небезпека здоров'я чинників біологічного, генетичного, соціального і поведінкового характеру. Встановлено ефект потенціювання при комбінованому впливі професійних та непрофесійних факторів. Тому є необхідність розробки нових методів аналізу та моделювання умовної ймовірності виникнення виробничої травми, прийнятних для практичних інженерних розрахунків.

### Виклад основного матеріалу

Показником оцінки рівня забезпечення безпеки людей на об'єктах є ймовірність запобігання впливу ( $F_B$ ) небезпечних факторів (НФ) виробничого середовища (ВС) та трудового процесу (ТП), яка може бути визначена за виразом

$$F_B = 1 - P_B, \quad (1)$$

де  $P_B$  - розрахункова ймовірність впливу ВФ на окрему людину на рік (розрахунковий індивідуальний ризик).

Рівень забезпечення безпеки людей відповідає необхідному, якщо

$$P_B \leq P_B^H, \quad (2)$$

де  $P_B^H$  - допустима ймовірність впливу ВФ на окрему людину на рік, яка приймається відповідно до чинних нормативних документів (нормоване значення індивідуального ризику  $P_B^H = 10^{-6}$  рік<sup>-1</sup>).

Ймовірність впливу ВФ виробничого середовища та трудового процесу на людину визначається

$$P_B = P \left[ \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{m=1}^M (BC_n \cap TP_m) \right], \quad (3)$$

де  $N$ ,  $M$  - кількість НФ виробничого середовища та трудового процесу,  $BC$ ,  $TP$  - подія виникнення  $n$ -го НФ ВС та виникнення  $m$ -го НФ ТП;

$\cup$ ,  $\cap$  - символи об'єднання (суми) та перетину (твору) випадкових подій.

У разі коли розглянуті події незалежні, то ймовірність настання нещасного випадку:

$$P_B = 1 - \prod_{n=1}^N \prod_{m=1}^M [1 - P(BC_n) \cdot P(TP_m)], \quad (4)$$

де  $P(BC_n)$ ,  $P(TP_m)$  - ймовірності появи  $n$ -го НФ ВС и  $m$ -го НФ ТП.

Ймовірність впливу  $n$ -го НФ ВС може бути визначена за формулою:

$$P(TP_n) = P_n^b \cdot P_n^p \cdot P_n^{nc}, \quad (5)$$

де  $P_n^b$ ,  $P_n^p$  - ймовірності наявності у робочій зоні  $n$ -го НФ (речовини) та знаходження людини в зоні дії  $n$ -го НФ,  $P_n^{nc}$  - вражаюча здатність  $n$ -го НФ (речовини).

Ймовірність наявності в робочій зоні  $n$ -го НФ (шкідливої речовини) та знаходження людини в зоні дії  $n$ -го НФ визначаються за формулами:

$$P_n^b = \frac{t_n^b}{T_c} \text{ і } P_n^p = \frac{t_n^p}{T_c}, \quad (6)$$

де  $t_n^b, t_n^p$  - час дії (експозиція)  $m$ -го НФ та час знаходження людини в зоні дії НФ протягом робочої зміни  $T_c$ .

Вражаюча здатність  $n$ -го НФ:

$$P_n^{nc} = \frac{d_n}{D_n}, \quad (7)$$

де  $d_n$  - фактичний вміст  $n$ -ої шкідливої речовини,  $D_n$  - граничний вміст шкідливої речовини (такої кількості, при якому працюючі підлягають негайній евакуації з небезпечної зони).

Підставивши у формулу (5) значення  $P_n^b, P_n^p, P_n^{nc}$  отримаємо:

$$P_{bn} = \frac{t_n^b \cdot t_n^p \cdot d_n}{D_n \cdot N_c}. \quad (8)$$

НФ визначається за формулою:

$$P_b(N) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - P_{bn}). \quad (9)$$

Знаючи ймовірність дії НФ на працюючих, можна визначити шкідливість ПС у цілому:

$$P_N^b = \frac{K_1 P_b(1) + K_2 P_b(2) + \dots + K_m P_b(N)}{K}, \quad (10)$$

де  $K_1, K_2, \dots, K_N$  - кількість працюючих у зоні дії 1, 2, ...,  $N$  НФ,  $K$  - загальна чисельність працюючих:

$$K = K_b + K_1 + K_2 + \dots + K_N, \quad (11)$$

де  $K_b$  - кількість працюючих, які не піддаються дії НФ.

Ймовірність наявності  $m$ -го НФ ТП може бути визначена за формулою:

$$P_{vm} = P_m^v \cdot P_m^p, \quad (12)$$

де  $P_m^v, P_m^p$  - ймовірності впливу  $m$ -го НФ та знаходження працюючого в зоні дії  $m$ -го НФ.

Ймовірність дії НФ та ймовірність знаходження працюючого в зоні його дії можуть бути визначені за формулами:

$$P_m^v = \frac{t_m^v}{T_c} \text{ і } P_m^p = \frac{t_m^p}{T_c}, \quad (13)$$

де  $t_m^v, t_m^p$  - час дії  $m$ -го НФ та час знаходження працюючого в зоні дії  $m$ -го НФ за час робочої зміни  $T_c$ .

Підставивши формули (13) у формулу (12) отримаємо ймовірність впливу на працюючих  $m$ -го НФ:

$$P_{vm} = P_m^v \cdot P_m^p = \frac{t_m^v}{T_c} \cdot \frac{t_m^p}{T_c} = \frac{t_m^v \cdot t_m^p}{T_c^2}. \quad (14)$$

За наявності 2, 3, ...,  $M$  НФ ймовірність їхньої дії визначається за формулами:

$$P_v(2) = P_{v2} + P_{v1} - P_{v2} \cdot P_{v1} \\ P_v(3) = P_{v3} + P_{v2} - P_{v3} \cdot P_{v2} \quad (15)$$

...

$$P_v(M) = P_{vM} + P_{v(M-1)} - P_{vM} \cdot P_{v(M-1)}$$

Знаючи ймовірність впливу НФ на працюючих, можна визначити небезпеку ТП в цілому:

$$P_{nM}^0 = \frac{K_1 P_0(1) + K_2 P_0(2) + \dots + K_n P_0(M)}{K}, \quad (16)$$

де  $K_1, K_2, \dots, K_n$  - кількість працюючих, які піддаються впливу 1, 2, ...,  $M$  факторів,  $P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(M)$  - ймовірність впливу на працюючих 1, 2, ...,  $M$  факторів,  $K$  - загальна чисельність працюючих:

$$K = K_v + K_1 + K_2 + \dots + K_M, \quad (17)$$

де  $K_v$  - загальна чисельність працюючих НФ.

Для визначення ймовірності виникнення НФ застосовують пробіт функцію у вигляді [6]:

$$F(HФ) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}(r)-5} \exp\left[-\frac{F(r,t)^2}{2}\right] dF(r,t) dt, \quad (18)$$

де  $F(r, t)$  - параметр НФ, що виник на відстані  $r$  від джерела небезпеки на момент часу  $t$ .

Залежність причин виникнення НФ описують розподілом Пуассона [6]:

$$F(r, t) = \exp(\lambda \Delta t) \sum_{k=1}^K \frac{(\lambda \Delta t)^k}{L}, \quad (19)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність виникнення НФ,  $\Delta t$  - інтервал часу, за якою виникає  $l$ -та небезпечна обстановка.

Величину пробіт функції, загалом, описують виразом:

$$\Pr(t) = A + B \ln \int_0^t D(t) dt, \quad (20)$$

де  $A$  и  $B$  константи, які залежать від ступеня поразки працюючого,  $D(t)$  - величина вражаючого фактора, що впливає на працюючого..

Якщо  $L$  конкуруючі незалежні причини появи події нещасного випадку, тоді легко визначити справедливості наступного співвідношенням

$$R(t) = \sum_{l=1}^L R(t)_l = \sum_{l=1}^L \int_0^F h(t)_l \prod_{j \neq l} F[HC(\tau)] dt, \quad (21)$$

де  $R(t)$  - повний ризик нещасного випадку,  $R(t)_l$  - ризик виробничого травматизму від  $l$ -ої причини,  $h(t)_l$  - середня щільність розподілу нещасного випадку в часі  $\tau$  з  $l$ -ої причини.

З формули (21) випливає, що ризик нещасного випадку характеризує внесок певної причини у формування травмонебезпечної ситуації та є безрозмірною величиною.

## Висновки

Таким чином, на основі застосування ймовірнісного методу для моделювання умовної ймовірності ураження працівника при виконанні технологічних операцій проведено оцінку ймовірності виникнення нещасного випадку та розвитку різних варіантів небезпечних ситуацій. При цьому виявлено причини, що впливають на ймовірнісний показник травмування та нещасних випадків, виконано оцінку обставин та умов, що сприяють виникненню та розвитку подібних травмонебезпечних ситуацій на виробництві.

## Література

1. Травматизм на виробництві: скільки було випадків і де найнебезпечніше працювати в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.slovoidilo.ua/2021/04/28/infografika/suspilstvo/travmatyzm-vyrobnychoho-skilky-bulo-vypadkiv-najnebezpechnishe-pracyuvaty-ukrayini>

2. Стан виробничого травматизму [Електронний ресурс]. Державна служба України з питань праці. Режим доступу : <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>

3. Охорона праці в Україні – проблеми, досвід, перспективи. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://novrada.gov.ua/2021/12/10/okhorona-pratsi-v-ukraini-problemy-dosvid-perspektyvy/>

4. Офіційний сайт Державного комітету статистики. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>.

5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу". [Електронний ресурс]. К.: МОЗ України. 2014.- Режим доступу: [https://ips.ligazakon.net/document/RE25249?an=1&ed=2014\\_04\\_08](https://ips.ligazakon.net/document/RE25249?an=1&ed=2014_04_08)

6. Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві, затверджений постановою КМУ від 17.04.2019 № 337 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://propr.com.ua/article/882-santarno-ggnchna-harakteristika-umov-prats>

7. Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності [Електронний ресурс]: навч. посіб. / В. В. Зацарний, Н. А. Праховнік, О. В. Землянська, О. В. Зацарна – Київ : НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2016. – електронне видання. Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/18263>.

8. Белай С. В. Концепція стратегії соціально-економічної безпеки регіонів України [Електронний ресурс] / С. В. Белай // Державне будівництво. – 2012. – № 2. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j pdf/DeBu\\_2012\\_2\\_20.pdf](http://nbuv.gov.ua/j pdf/DeBu_2012_2_20.pdf).

9. Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності [Електронний ресурс]: навч. посіб. / В.В. Зацарний, Н.А. Праховнік, О.В. Землянська, О.В. Зацарна. – К.: НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2016. – електронне видання. Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/18263>

10. Виробнича санітарія [Текст] : навч. Посібник / Ткачук К.Н., Капитанов С.Ф., Зацарний В.В., Ткачук К.К.- К.: НТУУ«КПІ», 2009. - 323 с.

11. ГП 3.3.5-8.6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [Текст], затвердженого наказом МОЗ України № 528 від 27.12.2007.

12. Williams A. S. Risk Management and Insurance / A. S. Williams, M. L. Smith, P. C. Young. – New York : McGraw-Hill, 1995.

13. ISO 31000 – Risk management [Electronic recurs]. – Retrieved from: <http://www.iso.org/iso/home/standards/iso31000.htm?=13>

14. ISO/IEC Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards Guide 51 IEC 60300–3–11 Dependability management – Part 3 – 11: Application guide – Reliability centered maintenance/

## References

1. Injuries in the workplace: how to recover and de safer practice in Ukraine. Retrieved from: <https://www.slovoidilo.ua/2021/04/28/infografika/suspilstvo/travmatyzm-vyrobnychoho-skilky-bulo-vypadkiv-najnebezpechnishe-pracyuvaty-ukrayini>

2. Camp for injury prevention. Sovereign Service of Ukraine with food price. Retrieved from: <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>

3. Protection of practice in Ukraine - problems, occasions, prospects. Retrieved from:



<https://novrada.gov.ua/2021/12/10/okhorona-pratsi-v-ukraini-problemy-dosvid-perspektyvy/>

4. Official website of the State Statistics Committee. Retrieved from: <http://www.ukrstat.gov.ua>

5. About the approval of the Sovereign sanitary norms and the rules "Hygienic classification of work for showing the carelessness and unsafely of the factors of the medium, the importance and tension of the labor process." K.: Ministry of Health of Ukraine. 2014. Retrieved from: [https://ips.ligazakon.net/document/RE25249?an=1&ed=2014\\_04\\_08](https://ips.ligazakon.net/document/RE25249?an=1&ed=2014_04_08)

6. The procedure for investigating the appearance of unfortunate illnesses, occupational illnesses and accidents at work, confirmation by the decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 17, 2019 No. 337. Retrieved from: <https://proop.com.ua/article/882-santarno-ggnchna-harakteristika-umov-prats>

7. Zatsarniy V., Prakhovnik N., Zemlyanska O., Zatsarna O. (2016) Possible. Kiev : NTUU "KPI" IEE. Retrieved from: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/18263>.

8. Belay S. (2012) The concept of the strategy of social and economic security of the regions of Ukraine. *State life*. No. 2. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/j\\_pdf/DeBu\\_2012\\_2\\_20.pdf](http://nbuv.gov.ua/j_pdf/DeBu_2012_2_20.pdf).

9. Zatsarniy V., Prakhovnik N., Zemlyanska O., Zatsarna O. (2016) Safety of life: Headbook. K.: NTUU "KPI" IEE. Retrieved from: <http://ela.kpi.ua/kandle/123456789/18263>

10. Tkachuk K., Kashtanov S., Zatsarniy V., Tkachuk K. (2009) Industrial sanitation: New. Manual. K.: NTUU "KPI", 323 p.

11. GP 3.3.5-8.6.6.1-2002 "Hygienic classification of work for indications of the shortness and unsafely of the factors of the human medium, the importance and intensity of the labor process", approved by order of the Ministry of Health of Ukraine No. 528 of 207.12.2020

12. Williams A., Smith M., Young P. (1995) Risk Management and Insurance. New York: McGraw-Hill.

13. ISO 31000 Risk management. Retrieved from <http://www.iso.org/iso/home/standards/iso31000.htm?i=13>

14. ISO/IEC Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards Guide 51 IEC 60300–3–11 Dependability management – Part 3 – 11: Application guide – Reliability centered maintenance.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.С. Полянський, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

**Автор:** БОГАТОВ Олег Ігорович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
E-mail – [bogatovolegigor@ukr.net](mailto:bogatovolegigor@ukr.net)

**Автор:** ЗАІЧЕНКО Віктор Іванович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [viza50@ukr.net](mailto:viza50@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5390-2524>

**Автор:** БІЛИМ Павло Анатолійович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [Pashha56@ukr.net](mailto:Pashha56@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9473-4280>

**Автор:** РОГОЗІН Анатолій Сергійович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [darbar@ukr.net](mailto:darbar@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4604-3351>

## REQUIREMENTS FOR HAZARD ANALYSIS MODELS AND CALCULATIONS DEGREE OF RISK

O. Bogatov<sup>1</sup>, V. Zaichenko<sup>2</sup>, P. Bilym<sup>2</sup>, A. Rogozin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Road University, Ukraine

<sup>2</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

*Based on statistical data, the main reasons for the low level of labor protection organization in Ukraine are formulated. In recent years, there has been a sharp increase in cases of industrial injuries. UAH 334 million was spent on monthly insurance payments to families who lost breadwinners. for temporary incapacity for work due to an accident or occupational disease - UAH 138.1 million. The data presented in the article indicate that the main causes of fatal accidents are organizational, psychophysical, technogenic, and technical. The main reasons for the low level of labor protection organization in Ukraine are given by the authors, who say that in today's conditions, the labor protection management system should be based not only on measures from the state, but also on the interest of the subjects of labor relations in maintaining the proper physical condition of the employee.*

*A real health risk assessment is impossible without a sufficient information base on the quantitative and qualitative characteristics of risk factors and data on the health status of those contingents of the population that are exposed to these factors. The effect of potentiating with the combined influence of professional and non-professional factors has been established. Therefore, there was a need to develop new methods of analysis and modeling of the conditional probability of the occurrence of an industrial injury, acceptable for practical engineering calculations. The proposed indicators of the level of ensuring the safety of people at the objects are the probability of preventing exposure to dangerous factors of the production environment and work process, which can be determined by the full risk of an accident.*

*Thus, on the basis of the application of the probabilistic method for modeling the conditional probability of injury to an employee during technological operations, an assessment of the probability of an accident and the development of various variants of dangerous situations was carried out. This will make it possible to get an assessment of the circumstances and conditions that contribute to the occurrence and development of traumatic situations at work.*

**Keywords:** labor protection, occupational injuries, industrial environment, accident, risk, danger, harmfulness, probability.