

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОЇ ПОКРОКОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

О. С. ІЛЬЧУК, асистент кафедри охорони праці,
промислової та цивільної безпеки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: oksana_i@i.ua

Анотація. Обґрунтовано застосовування методів для зниження виробничого травматизму на підприємствах України, що дають можливість направити фінансування на ті проекти з охорони праці, які найбільш необхідні та одночасно знизити витрати на інші проекти за рахунок усунення зайвих функцій і видів робіт.

Сформована параметричного вибору проектів з охорони праці для підприємств України, що забезпечує мінімізацію негативних наслідків у процесі прийняття управлінських рішень з охорони праці, шляхом застосування математичного інструментарію і дозволяє підвищити рівень ефективності управління охороною праці завдяки цільовій орієнтації на 20,1 %, враховуючи обмеження за часом, за кількістю заходів, наданих економічних ресурсів.

Удосконалено та адаптовано метод цілочисельної покрокової оптимізації, що дає можливість вибору оптимальної сукупності

Актуальність. Виробничий травматизм актуальна проблема у всіх країнах світу. За даними Міжнародного бюро праці щорічно у світі реєструється приблизно 270 млн

щорічного впровадження заходів з охорони праці. Цільова функція даного методу скерована на мінімізацію показників виробничого травматизму та небезпечності виробничого обладнання.

Проведено поглиблений аналіз варіантів вибору проектів з охорони праці для ПАТ «Роменський завод «Тракторозапчастина».

Використання методу цілочисельної покрокової оптимізації на даному підприємстві дало можливість знизити показник виробничого травматизму на 9,8 %.

Результати дослідження є одним із етапів бенчмаркінгу охорони праці та можуть стати частиною тривалого циклу підвищення рівня ефективності управління охороною праці на підприємствах України.

Ключові слова: охорона праці, виробничий травматизм, методи оптимізації, бенчмаркінг, ефективність управління охороною праці, показник виробничого травматизму, заходи з охорони праці.

нешасних випадків, пов'язаних з трудовою діяльністю людини, з них гине більше 2,2 млн працівників. Це перевищує кількість жертв дорожньо-транспортних пригод (1 млн), воєнних конфліктів (502 тис.), насильства (536

Ільчук О. С.

тис.). Смертність від нещасних випадків у наш час займає третє місце після серцево-судинних і онкологічних захворювань.

За даними Державної служби України з питань праці, за останні 5 років на підприємствах України в середньому травмовано 6,2 тис. осіб, з них 470 зі смертельними наслідками. Важливо також звернути увагу на недостатнє фінансування системи управління охороною праці на підприємствах України.

Виходячи з цього можна стверджувати, що зниження виробничого травматизму є актуальною науковою задачею, що вимагає не тільки організаційно-управлінських, а й технічних рішень.

Отже, щоб направити фінансування на ті проекти з охорони праці, які найбільш необхідні для зниження виробничого травматизму і одночасно знизити витрати на інші проекти за рахунок усунення зайвих функцій і видів робіт, необхідно застосовувати оптимізаційні методи. Одним із таких є задача параметричного програмування вибору проектів з охорони праці на основі методу цілочисельної покрової оптимізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням, пов'язаним з проблемами вибору рішень в системі управління охороною праці, присвячена робота О. М. Гунченко [1], оптимізації заходів з охорони праці – Н. В. Ступницької [2], ефективності

управління охороною праці на підприємствах з використанням інформаційно-аналітичної підтримки планування працезохоронних заходів – О. Є. Кружилка [3]. Проте не достатньо уваги приділяється вибору сама необхідних проектів з охорони праці, які максимально знизять рівень виробничого травматизму за наданими фінансовими ресурсами.

Мета дослідження – визначення оптимальної сукупності проектів з охорони праці для підприємств України, використовуючи метод цілочисельної покрової оптимізації.

Матеріали і методи дослідження. Процес прийняття управлінських рішень з охорони праці потребує комплексного підходу та обґрунтованого аналізу. Результат формалізованих аналітичних процедур не повинен бути єдиним критерієм для прийняття того чи іншого управлінського рішення щодо рівня ефективності управління охороною праці та стану виробничого травматизму. Результати аналізу – “матеріальна основа” управлінських рішень, прийняття яких повинно бути засноване на системному підході [4].

Сформулюємо задачу параметричного програмування вибору проектів з охорони праці.

Нехай n – загальна кількість вибраних проектів з охорони праці, p – кількість обов'язкових до впровадження проектів.

Витрати фінансових ресурсів на

Ільчук О. С.

реалізацію кожного проекту – a_j . фінансових ресурсів – R .
Відомий виділений обсяг Цільова функція має вигляд:

$$\begin{aligned} Z_1(n) &\rightarrow \min k_{\text{вТ}}, \\ Z_2(n) &\rightarrow \min k_{\text{нво}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $k_{\text{вТ}}$ – показник виробничого небезпечності виробничого травматизму, $k_{\text{нво}}$ – показник обладнання. Критерій оптимізації

$$\begin{aligned} W &= \frac{k_{\text{вТ } i} - k_{\text{вТ } i+1}}{R_i + R_{i+1}} = \frac{\Delta k_{\text{вТ}} \downarrow}{\Delta R \uparrow}; \\ W &= \frac{k_{\text{нво } i} - k_{\text{нво } i+1}}{R_i + R_{i+1}} = \frac{\Delta k_{\text{нво}} \downarrow}{\Delta R \uparrow}. \end{aligned} \quad (2)$$

Обмеження: за часом $T_p \leq T_{\text{рік}} \leq 5760$ год, кількістю заходів $n \leq n_3 \leq 15$, та наданими фінансовими ресурсами

$$\phi_1(x_j) \geq R_{\text{в}}.$$

Модель розрахунку має вигляд:

$$\sum_{j=1}^p A_j \cdot x_j + \sum_{j=1}^{n-p} a_j \cdot x_j \leq R, \quad (3)$$

де x_j – j -й захід з охорони праці, A_j – витрати фінансових ресурсів на реалізацію обов'язкового проекту.

Рішення задачі методом цілочисельної покрової оптимізації забезпечує можливість розрахунку ефективності за наданими економічними ресурсами та дає можливість оперативного перерахунку вибору оптимальної сукупності проектів з охорони праці, які дають більший ефект зниження $k_{\text{вТ}}$ та $k_{\text{нво}}$.

Результати дослідження та їх обговорення. Ґрунтуючись на законі Парето [5], найбільш вагомих причини виробничого травматизму, було сформовано 15 заходів з охорони

праці, сукупність яких знизить показник виробничого травматизму на 20, 1 %. Враховуючи статистичну інформацію [6], результати досліджень [4, 7, 8], визначено на скільки відсотків кожен захід знизить $k_{\text{вТ}}$ та вартість кожного заходу (табл.1).

Для прикладу адаптуємо метод цілочисельної покрової оптимізації для ПАТ "Роменський завод "Тракторозапчастина", бюджетні фінансові ресурси на охорону праці для даного підприємства складають 80 000 грн. Враховуючи обмеження, модель розрахунку має наступний вигляд:

Льчук О. С.

$$\phi_1(x_j) = 5000x_1 + 36000x_2 + 7950x_3 + 3000x_4 + 3500x_5 + 4000x_6 + 9800x_7 + 50000x_8 + 30000x_9 + 60000x_{10} + 2000x_{11} + 10500x_{12} + 40000x_{13} + 2700x_{14} + 7950x_{15} \leq 80000, \quad (4)$$

$$x_{1-5} \in 1, \quad x_{6-15} = \{0,1\}, \quad (5)$$

де $\phi_1(x_j)$ – загальна вартість вибору проектів з охорони праці, грн.

1. Вибір проектів з охорони праці для підприємств України

| Змінні керування | Заходи з охорони праці | ΔR , тис. грн | $k_{\text{вт}}$, % |
|--|---|-----------------------|---------------------|
| x_1 | Атестація робочих місць. | 36 | 1,8 |
| x_2 | Підготовка та здача екзамену з електробезпеки. | 7,95 | 0,7 |
| x_3 | Забезпечення всіх виробничих підрозділів інформаційними стендами з питань охорони праці. | 5 | 0,1 |
| x_4 | Виконання електрофізичних вимірів, проведення випробувань засобів захисту від ураження електричним струмом. | 3,5 | 1,7 |
| x_5 | Впровадження та оновлення всіх виробничих підрозділів знаками і плакатами безпеки, сигнальними стрічками. | 3 | 1 |
| x_6 | Проведення інспекторського аудиту з охорони праці. | 4 | 2,4 |
| x_7 | Придбання комп'ютерної програми для навчання і перевірки знань з охорони праці. | 9,8 | 1,8 |
| x_8 | Удосконалення робочих місць зварювальників. | 50 | 2,8 |
| x_9 | Обладнання захисними засобами травмонебезпечних ділянок. | 60 | 3,3 |
| x_{10} | Реконструкція виробничих приміщень. | 30 | 3,5 |
| x_{11} | Підтримання необхідного рівня санітарії та медичне забезпечення (аптечки). | 2 | 0,1 |
| x_{12} | Придбання первинних засобів пожежогасіння, згідно розрахунку. | 10,5 | 0,2 |
| x_{13} | Придбання захисного одягу, взуття. | 40 | 0,4 |
| x_{14} | Замовлення і розроблення нормативної документації на застосування засобів індивідуального захисту. | 2,7 | 0,1 |
| x_{15} | Проведення тренінгів щодо використання засобів індивідуального захисту, первинних засобів пожежогасіння. | 7,95 | 0,2 |
| Загальний відсоток показника виробничого травматизму | | | 20,1 |

Використовуючи удосконалений знайдено вибір оптимальної програмний алгоритм, розроблений в сукупності заходів за результатами середовищі Microsoft Excel за використання наданих економічних допомогою макроса, оперативно ресурсів (рис. 1).

Льчук О. С.

| | A | B | C | D | E |
|----|----------------------|---------------------|--|---|-----------|
| 1 | Назва проекту | Ціна проекту | | | |
| 2 | X1 | 5 000 | Мінімальна вибірка | | 5 |
| 3 | X2 | 36 000 | Максимальна вибірка | | 15 |
| 4 | X3 | 7 950 | Кількість проектів | | 15 |
| 5 | X4 | 3 000 | | | |
| 6 | X5 | 3 500 | Виділений об'єм фінансових ресурсів | | 80 000,00 |
| 7 | X6 | 4 000 | Допустима похибка ± | | 500,00 |
| 8 | X7 | 9 800 | Усі можливі комбінації | | 30 827 |
| 9 | X8 | 50 000 | | | |
| 10 | X9 | 60 000 | Розрахунок | | |
| 11 | X10 | 30 000 | | | |
| 12 | X11 | 2 000 | | | |
| 13 | X12 | 10 500 | Варіанти можливих комбінацій проектів | | |
| 14 | X13 | 40 000 | = 36000 + 10500 + 9800 + 7950 + 5000 + 3500 + 3000 + 2700 + 2000 | | 80450 |
| 15 | X14 | 2 700 | = 36000 + 10500 + 7950 + 7950 + 5000 + 4000 + 3500 + 3000 + 2000 | | 79900 |
| 16 | X15 | 7 950 | = 36000 + 9800 + 7950 + 7950 + 5000 + 4000 + 3500 + 3000 + 2700 | | 79950 |
| 17 | | | = 36000 + 10500 + 9800 + 7950 + 5000 + 4000 + 3500 + 3000 | | 79750 |

Рис. 1. Головне вікно програми для ПАТ "Роменський завод "Тракторозапчастина"

Остаточні результати відображають оптимальний розподіл бюджетних економічних ресурсів, за яких досягається максимально можливий ефект від вибору сукупності

проектів з охорони праці.

На рис. 2 зображено результати покрокової оптимізації.

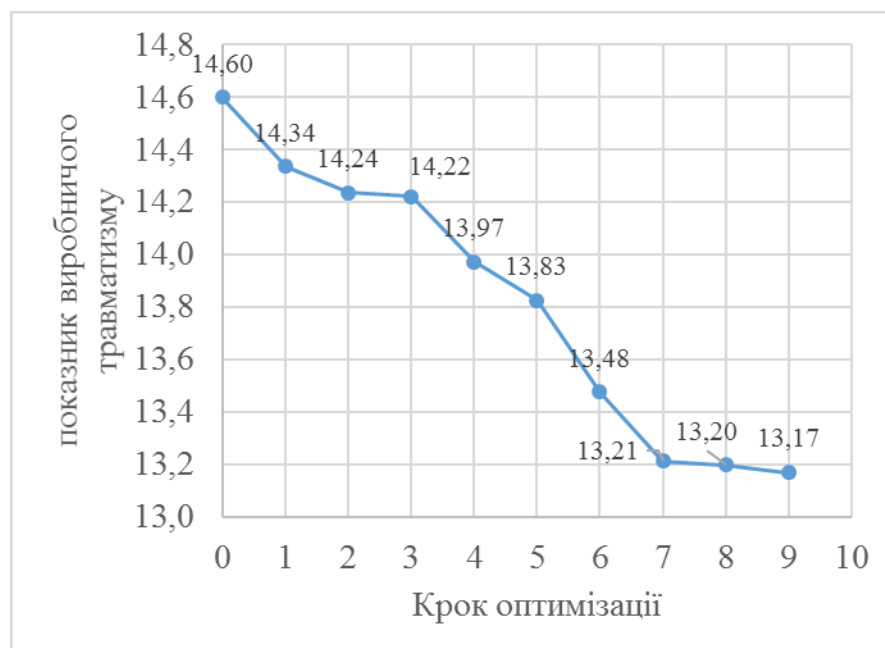


Рис. 2. Результати цілочисельної покрокової оптимізації для зниження показник виробничого травматизму

Гльчук О. С.

Отже, для ПАТ "Роменський завод "Тракторозапчастина" необхідно впровадити такі заходи з охорони праці: атестація робочих місць; підготовка та здача екзамену з електробезпеки; забезпечення всіх виробничих підрозділів інформаційними стендами з питань охорони праці; виконання електрофізичних вимірів, проведення випробувань засобів захисту від ураження електричним струмом; впровадження та оновлення всіх виробничих підрозділів знаками і плакатами безпеки, сигнальними стрічками; проведення інспекторського аудиту з охорони праці; придбання комп'ютерної програми для навчання і перевірки знань з охорони праці; замовлення і розробка нормативної документації щодо застосування засобів індивідуального захисту; проведення тренінгів щодо використання засобів індивідуального захисту, первинних засобів пожежогасіння.

Даний метод оптимізації може використовуватися і бути адаптований на всіх підприємствах України.

Висновки і перспективи. Метод цілочисельної покрокової оптимізації на основі методу динамічного програмування з урахуванням обмежень і дискретності вихідної інформації, дає можливість визначити сукупність проектів, які підлягають

впровадженню, що забезпечують отримання оптимального розподілу економічних ресурсів на підприємствах України, застосовуючи математичний інструментарій. Це дає змогу мінімізувати негативні наслідки у процесі прийняття управлінських рішень з охорони праці.

Цільова функція даного методу скерована на мінімізацію показників виробничого травматизму та небезпечності виробничого обладнання. Встановлено, що впровадження методу цілочисельної покрокової оптимізації на ПАТ «Роменський завод «Тракторозапчастина» зменшить показник виробничого травматизму на 9,8 %.

Результати дослідження є одним із етапів бенчмаркінгу охорони праці та можуть стати частиною тривалого циклу підвищення рівня ефективності управління охороною праці на підприємствах України.

Ільчук О. С.

Список використаних джерел

1. Гунченко О. М., Касьянова К. М. Дослідження проблеми вибору рішень в системі управління охороною праці (СУОП) машинобудівного підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2008. Ч. 2. № 6 (124). С. 161-165.
2. Ступницька Н.В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01 / Львівська політехніка. Львів, 1999. 22 с.
3. Кружилко О. Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01 / ННДІПБОП. Київ, 2001. 20 с.
4. Левченко О. Г., Ільчук О. С. Оптимальне управління розподілом та перерозподілом економічних ресурсів при виборі проектів з охорони праці для машинобудівних виробництв. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси»: збірник наукових праць. 2017. №44(1266). С. 151-157.
5. Левченко О. Г., Ільчук О. С. Застосування методу АВС-аналізу та закону Парето до аналізування виробничого травматизму в галузі машинобудування. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2017. № 33. С. 74-79.
6. Статистичний щорічник України // Комплексні статистичні публікації. URL: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm.
7. А. О. Водяник, "Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму", автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.26.01 / ННДІПБОП, Київ, 2008.
8. Ільчук О. С. Бенчмаркінг охорони праці для машинобудівних виробництв України. *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. Серія "Гірництво": збірник наукових праць. 2017. № 34. С. 60-65.

References

1. Hunchenko O. M., Kasianova K. M. (2008). Doslidzhennia problemy vyboru rishen v systemi upravlinnia okhoronoiu pratsi mashynobudivnoho pidpriemstva [Investigation of the decision-making problem in the system of management of labor protection (SOUP) of the machine-building enterprise]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*. Ch. 2, 6 (124), 161-165.
2. Stupnytska N.V. (1999). Pidvyshchennia efektyvnosti planuvannia zakhodiv zapobihannia vyrobnychomu travmatyzmu na pidpriemstvakh mashynobuduvannia [Improving the effectiveness of planning measures to prevent occupational injuries in machine-building enterprises]. *Lvivska politekhnik*. Lviv, 22 s.
3. Kruzhylko O. Ye. (2001). Udoskonalennia kompleksnoi otsinky stanu okhorony pratsi na pidpriemstvakh [The perfection of complex evaluation of labour safety condition on the enterprises.]. *Kyiv*, 20 s.
4. Levchenko O. H., Ilchuk O. S. (2017). Optymalne upravlinnia

Ільчук О. С.

rozpodilom ta pererozpodilom ekonomichnykh resursiv pry vybori proektiv z okhorony pratsi dlia mashynobudivnykh vyrobnytstv [Optimal management of distribution and redistribution of economic resources of the choice of projects for labor protection for machine-building enterprises]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriiia «Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy»: zbirnyk naukovykh prats. 44(1266), 151-157.

5. Levchenko O. H., Ilchuk O. S. (2017). Zastosuvannia metodu ABC-analizu ta zakonu Pareto do analizuvannia vyrobnychoho travmatyzmu v haluzi mashynobuduvannia [Using the ABC-analysis and Pareto Law to reduce industrial injuries in mechanical engineering]. Problemy okhorony pratsi v Ukraini. 33. 74-79.

6. Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy // Kompleksni statystychni publikatsii. Available at: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm.

7. Vodianyk A. O. (2008). Metodolohichni osnovy vrakhuvannia faktora ryzyku v profilaktytsi vyrobnychoho travmatyzmu [Methodological background of risk factor consideration in the prevention of occupational injuries]. NNDIPBOP, Kyiv, 38 s.

8. Ilchuk O. S. (2017). Benchmarkinh okhorony pratsi dlia mashynobudivnykh vyrobnytstv Ukrainy [Benchmarking of labor protection in the mechanical engineering sector of Ukraine]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut". Seriiia "Hirnyctvo": zbirnyk naukovykh prats. 34, 60-65.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ ПОШАГОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

О.С. Ильчук

Аннотация. Обоснованно применение оптимизационных методов для снижения производственного травматизма на предприятиях Украины, которые дают возможность направить финансирование на те проекты по охране труда, которые наиболее необходимы и одновременно снизить расходы на другие проекты за счет устранения лишних функций и видов работ.

Сформирована и представлена задача параметрического программирования выбора проектов по охране труда для предприятий Украины, которая обеспечивает минимизацию негативных последствий в процессе принятия управленческих решений по охране труда, путем применения математического инструментария и позволяет повысить уровень эффективности управления охраной труда благодаря целевой ориентации на 20,1%, учитывая ограничения по времени, по количеству мероприятий, предоставленных экономических ресурсов.

Усовершенствован и адаптирован метод целочисленной пошаговой оптимизации, который

Гльчук О. С.

дает возможность выбора оптимальной совокупности ежегодного внедрения мероприятий по охране труда. Целевая функция данного метода направлена на минимизацию показателей производственного травматизма и опасности производственного оборудования.

Проведен углубленный анализ вариантов выбора проектов по охране труда для ОАО «Роменский завод «Тракторозапчасть». Использование метода целочисленной пошаговой оптимизации для данного предприятия позволило снизить показатель производственного травматизма на 9,8%.

Результаты исследования являются одним из этапов бенчмаркинга охраны труда и могут стать частью длительного цикла повышения уровня эффективности управления охраной труда на предприятиях Украины.

Ключевые слова: охрана труда, производственный травматизм, методы оптимизации, бенчмаркинг, эффективность управления охраной труда, показатель производственного травматизма, мероприятия по охране труда

APPLICATION OF THE METHOD OF INTEGER STEP-BY-STEP OPTIMIZATION FOR INDUSTRIAL INJURY REDUCTION

O.S.Ichuk

Abstract. The general statistical information on occupational injuries for the world and specifically for Ukraine is given. It is shown that mortality caused by the accidents nowadays occupies the third place after cardiovascular and

oncological diseases. The application of optimization methods for reducing the occupational injuries at enterprises of Ukraine is substantiated. This gives the possibility to direct the funding for labor protection projects that are most needed and at the same time to reduce the cost of other projects, by eliminating unnecessary functions and types of work.

The researches and publications of other scientists were analyzed in this paper, which allowed to determine the prospects for the further research.

The task of parametric programming which allows the selection of projects on labor protection for Ukrainian enterprises was formulated. This ensures a minimization of the negative consequences in the process of adopting managerial decisions on labor protection by the application of mathematical tools and allows one to raise the level of effectiveness of the management of occupational safety due to the target orientation and takes into account time constraints, for the number of activities provided by economic resources.

Based on the Pareto law and taking into account the causes of occupational injuries, the 15 measures for the labor protection were formed. Their aggregation allows to lower the rate of occupational injuries by 20,1%. Taking into account the statistical information, the results of previous studies in this paper author determined by how many percent, each measure will reduce the rate of occupational injuries and the cost of each event.

The method of integer step-by-step optimization is improved and adapted, which gives the opportunity to choose the optimal set of annual implementation of

Львук О. С.

measures on occupational safety. The objective function of this method is aimed at minimizing the rates of occupational injuries and the danger of production equipment. This optimization method can be used and adapted to all enterprises in Ukraine.

A deep analysis of the decision process of the projects on occupational safety for "Romny Plant "Tractor Parts" was carried out, which made it possible to lower the value of occupational injury by 9.8%.

It is recommended to implement such measures for occupational safety: certification of workplaces; preparation and passing of the exam on electrical safety; provision of all production units with information stands on labor protection issues; performance of electrophysical measurements, testing of means of protection against electric shock; implementation and updating of all production departments with signs and posters of security, signaling tapes; carrying out of an inspectorate audit on labor protection; purchase of a computer program for training and verification of knowledge on occupational safety; ordering and developing normative documents on the use of personal protective equipment; conducting trainings on the use of personal protective equipment, primary fire extinguishing agents.

The results of the study are one of the steps in the benchmarking of labor protection and can become part of a long cycle of increasing the level of effectiveness of the management of occupational safety at enterprises in Ukraine.

Keywords: *labor protection, occupational injuries, methods of*

optimization, benchmarking, efficiency of management of occupational safety, index of occupational injuries, indicators of the danger of production equipment, measures on occupational safety