

УДК 613.6.027

В. Л. Безсонний¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-8089-7724)

Р. В. Пономаренко², д.т.н., с.н.с., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-6300-3108)

О. В. Третяков³, д.т.н., професор, наук. консультант (ORCID 0000-0002-0457-9553)

К. М. Карпець², к.геогр.н., доцент, провідн. н.с. (ORCID 0000-0001-6388-7647)

¹*Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна*

²*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

³*ТОВ «ІПРІС-ПРОФІЛЬ», Харків, Україна*

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОДІЙ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Підвищено ефективність управління ризиками небезпечних подій у підрозділах машинобудівного підприємства шляхом використання вдосконаленого підходу до оцінки ризиків та вперше для оптимізації витрат на заходи з охорони праці у підрозділах машинобудівного підприємства використана задача «пакування рюкзака», що дозволяє знизити величину ризику до допустимого рівня. Ідентифікація та аналіз існуючих ризиків на ДП «Завод «Електроважмаш» були здійснені з використанням методу структурованої оцінки. При цьому враховувалася не тільки можливість виникнення небезпечної події, а і наслідки, які від неї можуть бути. Встановлено, що найбільш частими ризиками є травмування від рухомого обладнання (39%), травми від падіння з висоти (17%), травми від дії електричного струму (15%). Але найбільшу тяжкість мають небезпеки, пов'язані з отруєнням. Процедура оптимального управління ризиками полягає у визначенні мінімальних витрат на досягнення кожної з інтегральних оцінок за допомогою матричної згортки. Це завдання про ранці, що ефективно вирішується методом дихотомічного програмування при цілочисельних значеннях параметрів. Перше число в матриці - величина оцінки, друге – витрати на досягнення (або збереження) цієї оцінки. Рухаючись від низу до верху, отримуємо для кожної інтегральної оцінки мінімальні витрати (на зменшення ступеня небезпеки від високого до середнього і низького). Для цього з клітин матриці з однаковими оцінками (перше число) вибираємо осередок з мінімальними витратами (друга клітина). Формування варіанту програми, тобто сукупності оцінок чинників, які забезпечують необхідне значення інтегральної оцінки з мінімальними витратами, відбувається методом зворотного ходу. Для цього послідовно, зверху вниз, визначаємо, які вихідні дані відповідають вибраній комірці матриці. Встановивши ці значення знаходимо їх в матрицях нижнього рівня. Повторюємо це, поки не досягнемо нижнього рівня структури дихотомічного уявлення, тобто конкретних оцінок факторів ризику. Набір цих оцінок є результатом дії алгоритму.

Ключові слова: управління ризиком, виробничий ризик, модель пакування рюкзака

1. Вступ

Підвищення рівня захисту працівників від професійних ризиків в процесі їх трудової діяльності є одним із головних напрямків діяльності усіх фахівців з охорони праці, а скорочення виробничих травм та професійних захворювань залишається найважливішою задачею усіх рівнів управління охороною праці з усіх точок зору – гуманітарної, соціальної і економічної, особистої, корпоративної та громадської.

Становлення в нашій країні ринкової економіки вимагає певної зміни організаційних механізмів і методів профілактики професійних ризиків, запобігання випадків виробничого травматизму та професійної захворюваності.

На такому машинобудівному виробництві широко використовуються високо-токсичні хімічні речовини, автоматичне обладнання, поточно-механізовані лінії, роботи і маніпулятори, більшість операцій виконується в умовах високого зорового напруження, запиленості, загазованості. У зв'язку з цим збільшується потенційна небезпека виникнення травмонебезпечних ситуацій, ризик виникнення професійних захворювань, кількість виробничих небезпек для здоров'я й життя людей.

Ризик є природною складовою життя і супроводжує людину в усіх сферах її

діяльності. В одних випадках ризик може бути великим і бути причиною аварій або виробничих нещасних випадків, а також причиною професійних захворювань. В інших випадках ризик менше, і його наслідки не такі небезпечні, наприклад, невелика травма або незначні матеріальні збитки.

Для запобігання травматизму та підвищення рівня безпеки праці на підприємствах впроваджується система управління охороною праці, що закріплено у статті 13 Закону України «Про охорону праці». Це зобов'язує роботодавця створити на кожному робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. За порушення зазначених у Законі вимог безпосередньо відповідальність несе роботодавець. Однак впровадження вимог Закону у практику господарювання відбувається повільно чи недостатньо професійно, що гальмує отримання ефективних результатів.

Тому, актуальною проблемою є забезпечення нормативного рівня охорони праці на підприємстві шляхом управління ризиками небезпечних подій.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питання оцінки ризиків виникнення надзвичайних подій та захисту від них працівників, як свідчать огляди [1, 2] знаходиться в центрі уваги наукової спільноти. Наведені огляди висвітлюють необхідність поглиблення питань, які ще не отримали належної уваги з боку дослідників, таких як труднощі в процесі прийняття норм та впровадження міжнародних стандартів (ISO 9001 та ISO 14001) для розробки комплексних показників оцінки ризиків.

Як відзначається у [3] оцінка та управління ризиками були створені як наукова сфера близько 30-40 років тому. Були розроблені принципи та методи для концептуалізації, оцінки та управління ризиками. І хоча ці принципи та методи все ще значною мірою становлять основу цієї галузі сьогодні, але серед теоретичних та практичних моделей та процедур відсутні такі, що дозволяють здійснювати оптимальне управління ризиками небезпечних подій.

У [4] проаналізовані нормативно-правові документи щодо оцінки та управління ризиками виникнення професійних небезпек. Проведено аналіз основних етапів загального оцінювання ризиків і виявлені системні проблеми, що суттєво впливають на якість і об'єктивність їх виконання, а також ставлять під сумнів практичну можливість здійснення процедури оцінки в рамках існуючих стандартів. Обґрунтована актуальність створення наукових основ оцінки ризиків виникнення професійних небезпек, але при цьому не враховуються можливі наслідки від небезпечних подій.

У статті [5] одержані методичні розробки з урахування впливу чинників ризику на основі запропонованого підходу до його кількісної оцінки сприятимуть підвищенню рівня надійності прийнятих організаційно-управлінських рішень при обґрунтуванні вартісних і часових показників проектів в умовах мінливого зовнішнього середовища, але без урахування оптимізації витрат на мінімізацію ризиків.

У [6] визначено підхід, який сприятиме захисту працівників підприємства від ризиків, з якими вони стикаються, пропонується зменшення непрямих витрати, що виникають внаслідок нещасних випадків на виробництві. Однак не розглядається, які саме заходи для зниження ризиків необхідно приймати в першу чергу.

Автори [7] представляють часткові результати досліджень у галузі проектування та впровадження інтегрованих систем управління ризиками

відповідно до міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO 27001 та ін. Пропонується інноваційна концепція моделі для впровадження та підтримки інтегрованих систем управління виробничими ризиками, але без урахування наслідків від реалізації небезпечних подій при оцінці ризиків.

У [8] автори досліджують досвід австралійських фірм у впровадженні процедур управління ризиками відповідно до вимоги ISO 9001, порівнюючи версії 1994 та 2000 років. Загалом, між двома версіями ISO 9001 немає суттєвої різниці щодо їх підходів до впровадження міжнародного стандарту.

Авторами [9] пропонується формалізація принципів «розрахування витрат» та «управління ризиками» у формі математичної моделі, яка може бути побудована на основі різних методів: стохастичного, параметричного, евристичного та ін. Запропонований підхід дозволяє використовувати неоднорідні підмоделі для завдання оцінки та управління на основі одного або декількох конкретних критеріїв: точно в часі, проектування за вартістю та управління ризиками. Але запропонована математична модель є моделлю верхнього рівня абстракції, при практичному використанні потрібно враховувати вирішуване завдання, обрані критерії та наявні обмеження.

Автори [10] відзначають, що при аналізі ризику, пов'язаного з рідкісними подіями з великою невизначеністю, які можуть призвести до катастрофічних наслідків, сумнівно, що наявні для аналізу знання та інформація можуть бути відображені належним чином за ймовірностями. Запропоновано інші підходи, крім суто імовірнісних, наприклад, з використанням інтервальних ймовірностей, можливих мір чи якісних методів. Робота має проблемний характер та бере до уваги необхідність розширеної системи оцінки ризику, яка відображає поділ, який практично існує між аналітиком та особою, що приймає рішення.

У [11] зазначається, що стандарти ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 та ISO 45001 вводять в інтегровану сферу дії термін оперативного контролю, застосування якого має обмежувати ризик невиконання вимог цих документів тому важливо було підготувати модель оперативного моніторингу в межах охорони праці. Запропонована методологія містить керівні принципи для оцінки ризику процесу, але не містить рекомендацій щодо оптимального управління зменшенням ризиків.

Як видно з наведеного аналізу, питанням визначення та оцінки ризику приділяється значна увага, але, донині відсутні прості та надійні методи оцінки, які б дозволяли здійснювати ефективне управління ризиком. Машинобудівні підприємства відносяться до галузі з високим рівнем виробничого травматизму та професійних захворювань, ризику техногенних аварій, тому невирішеною частиною проблеми є питання розробки ефективних алгоритмів управління ризиками небезпечних подій з урахуванням усіх виробничих небезпек.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності управління ризиками небезпечних подій машинобудівного підприємства.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішити наступні завдання:

- 1) вдосконалити методики аналізу існуючих ризиків, провести їх ідентифікацію та здійснити їх класифікацію;
- 2) розробити програму оптимізації витрат при управлінні ризиком на основі дерева згортки показників.

4. Матеріали і методи досліджень

Теоретичний ризик виражається у формі статистичного показника, який часто зводиться до ймовірності деякого небажаної події. Зазвичай ймовірність такої події і деяка оцінка очікуваної шкоди об'єднується в один показник, який комбінує набір ймовірностей ризику і шкоди або винагороди. Таким чином, в статистичній теорії прийняття рішень, функція ризику оцінки $\delta(x)$ для параметра θ , обчислена при деяких спостережуваних параметрах x , визначається як математичне очікування функції втрат $L(\theta, \delta(x))$:

$$R(\theta) = \int L(\theta, \delta(x)) \cdot f(x | \theta) dx, \quad (1)$$

де $L(\theta, \delta(x))$ – функція втрат від параметра оцінки θ і значення оцінки $\delta(x)$; $f(x|\theta)$ – ймовірність небажаної події.

На практиці, як правило, використовують частинні форми виразу (1), які полягають у тому, що залежність істотно спрощується, якщо врахувати конкретні умови виконання оцінки ризику. Ймовірність небажаної події, визначається частотою реалізації небезпек:

$$P = f(x | \theta) = \frac{N(t)}{Q(x)}, \quad (2)$$

де $N(t)$ – число небажаних подій за час t ; $Q(x)$ – загальне число подій в системі.

Для функції втрат $L(\theta, \delta(x))$ зазвичай приймають деяку вартісну міру одиниці ризику, яка характеризує наслідки деякої події.

В рамках цього дослідження будемо орієнтуватися на методіку оцінки ризиків, наведеною у Британському стандарті BS 8800, та у відповідності з міжнародним стандартом ISO 45001 «Системи менеджменту охорони здоров'я та забезпечення безпеки праці. Вимоги та керівництво з застосування».

При проведенні робіт з ідентифікації небезпек, оцінки ризиків та управлінню ризиками розглядалися:

- постійні операції, для проведення яких призначене робоче місце, періодичні й епізодичні операції, такі як чистка та ремонт, пуск і зупинка, а також потенційні аварійні ситуації, споживання продукції або послуг, що поставляються іншими організаціями;

- діяльність всього персоналу, що має доступ до робочого місця (а також відвідувачів);

- обладнання на робочому місці.

Перераховані вище фактори повинні були розглянуті в підрозділах при наступних ситуаціях:

- нормальні (робочі) умови;

- аномальні умови (пуск, зупинка, ремонт і т.д.);

- аварійні умови і інциденти.

По завершенні процесу ідентифікації небезпек та оцінки ризиків структурні підрозділи підприємства мали повне уявлення про всі наявні та керованих ними небезпеки в сфері охорони праці.

Для проведення ідентифікації небезпек визначався перелік робочих місць таким чином, щоб отримати максимально достовірну уяву про небезпеки, що існують в даному структурному підрозділі. З робочих місць з ідентичним характером виконуваних робіт і аналогічними умовами праці вибирається одне-два робочих місця.

Вибрані робочі місця структурного підрозділу представляли всі типи виконуваних в підрозділі робіт, всі професії (особливо пов'язані з підвищеною небезпекою).

В обов'язковому порядку проводилася ідентифікація небезпек тих працівників, які мають непостійні робочі місця (водій електрокара, автотранспорту, зварювальник, вантажник, стропальник і т.п.), а також працівників, які найбільш часто фігурують в журналах контролю стану охорони праці в якості «порушників» виробничої дисципліни.

При проведенні спостережень і співбесід з працівниками відслідковувалися найважливіші фактори, що впливають на безпеку робочого місця: виробничий процес; зміст робочого місця; безпеку праці при роботі на виробничому обладнанні; фактори навколишнього середовища на робочому місці; ергономічні чинники; проходи і проїзди; можливості для порятунку і надання першої допомоги.

5. Вдосконалення методики аналізу ризиків та їх ідентифікація

Первинна оцінка ризиків і небезпек проводиться з використанням методу структурованої оцінки, який базується на рекомендаціях, відповідає вимогам, адаптований до умов підприємства та полягає у наступному.

Формулу оцінки ризику (1) запишемо у спрощеному вигляді:

$$R = L \times P \quad (3)$$

де R – ризик; P – показник, що характеризує ймовірність виникнення небажаної події, що загрожує життю, здоров'ю людини, обладнанню підприємства, визначається за табл. 1. При оцінці ризиків, пов'язаних із впливом шкідливих факторів, показник ймовірності визначається за табл. 2.

$L = k_1 \times k_2$, де k_1 – показник, що характеризує частоту, з якою працівники піддаються небезпеці, впливу шкідливих та небезпечних факторів, визначається за табл. 3; k_2 – показник, що характеризує наслідки, оцінюються за табл. 4.

На підставі отриманого значення у відповідності до табл. 5 проводиться аналіз ризику та визначається необхідність проведення коригувальних дій.

Табл. 1. Показник, що характеризує ймовірність настання небажаної події (P), оцінюється при впливі на працівників небезпечних виробничих факторів

Значення	Ймовірність	Періодичність виникання небажаної події
10	Дуже висока	Щомісячно
6	Висока	Можливо впродовж тижня
3	Середня	Можливо впродовж місяця
1	Мала	Можливо впродовж року
0,5	Дуже мала	Впродовж терміну експлуатації
0,1	Практично не можлива	Теоретично можливо, практично ні

Табл. 2. Показник, що характеризує ймовірність настання небажаної події (P), оцінюється при впливі на працівників шкідливих виробничих факторів

Значення	Ймовірність	Перевищення гігієнічних нормативів, (разів)
10	Дуже висока	> 20
6	Висока	10,1 – 20
3	Середня	6,1 – 10
1	Мала	3,1 – 6
0,5	Дуже мала	1,1 – 3
0,1	Практично не можлива	≤ 1

Табл. 3. Показник, що характеризує частоту впливу (k_1)

Значення	Характеристика	Періодичність роботи в небезпечній зоні
10	Постійно	Впродовж зміни постійно
6	Регулярно	Впродовж зміни періодично
3	Періодично	Декілька разів на тиждень
2	Іноді	Декілька разів на місяць
1	Рідко	Декілька разів на рік
0,5	Дуже рідко	Менше одного разу на рік

За ризиками, що отримали оцінку 100 балів і вище, необхідно розробляти додаткові профілактичні заходи. Профілактичні заходи, що вимагаються законодавством або іншими обов'язковими до виконання документами, приймаються незалежно від результатів оцінки ризику.

Табл. 4. Показник, що характеризує тяжкість наслідків (k_2)

Значення	Категорія наслідків	Характеристика тяжкості наслідків
40	Крупна аварія	Груповий нещасний випадок (два і більше смертельних випадків)
15	Дуже значні	Один смертельний випадок
7	Значні	Інвалідність, стійка втрата працездатності
3	Серйозні	Тимчасова або часткова втрата працездатності
1	Незначні	Незначні травми, з наданням першої медичної допомоги без втрати працездатності

Табл. 5. Аналіз ризиків та рекомендовані дії

Значення R	Характеристика ризику	Коригувальні дії
Більше 400	Дуже високий (недопустимий)	Роботу припинити або не розпочинати до зменшення ступеню ризику
300 – 400	Високий	Розробити порядок організації робіт, прийняти заходи зі зменшення ризику в термін, що не перевищує трьох місяців
100 – 300	Значний	Впровадити заходи зі зменшення ризику в терміни, визначені цілями
До 100	Допустимий	Дотримуватися загальних правил з охорони праці

Дослідження з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків проводилося у підрозділах заводу «Електроважмаш» за участю та при сприянні відповідальних фахівців з охорони праці. Результати аналізу процесу ідентифікації небезпек, оцінки ризиків і управління оформлюються у формі «Реєстру небезпек та оцінки ризиків», фрагмент якого наведено в табл. 6.

Табл. 6. Фрагмент форми реєстру небезпек та оцінки ризиків

Тип ризику					
Травми від падіння з висоти	Травми від рухомого обладнання	Травми від вибуху, пожежі	Травма від електричного струму	Отруєння	Теплові і хімічні опіки
Причини небезпеки					
- розташування робочого місця на значній висоті по відно-	- інструмент, який ріже і переміщує; - рухомі час-	- поява іскри, - шумове та вібраційне дію	- збільшення напруги в електричній мережі;	- вплив шкідливих речовин; - контакт з	- вплив нагрітих металевих пове-

шенню до поверхні землі (підлога)	тини виробничого обладнання, рухомі матеріали		- струм, який може проходити через людське тіло	активною речовиною; - підвищений газове забруднення і запиленість повітря робочої зони	рхонь; - пар і розсіювання кислотних крапель
<i>Види робіт і обладнання</i>					
- розвантажувальні і навантажувальні роботи на кранах; - прибирання снігу на дахах	- робота на металообробних обладнаннях; - навантаження і розвантаження операцій	- робота з обладнанням для газообезпечної роботи; - дроблення виробничого обладнання	- робота на існуючих електричних установках; - технологічне зварювальне обладнання; - підйомні машини; - монтажні і експлуатаційні роботи	- електрогальванічні роботи; - застосування лакофарбових робіт; - робота з обладнанням для теплових робіт; - робота з фламінюючими речовинами	- виробництво гальванічного обладнання; - технічне обслуговування і ремонт технологічного обладнання
<i>Заходи захисту</i>					
- облаштування робочого місця з захисним парканом; - знаки безпеки; - робота на сходах з ременем безпеки; - знаки безпеки	- використання захисної огорожі; - знаки безпеки	- робота в засобах індивідуального захисту (ІРЕ); - знаки безпеки	- перевірка стійкості електричної мережі, теплоізоляційної стійкості, заземлення; - отвір, використання двоізоляційного кабелю; - знаки безпеки; - робота в ІРЕ	- розташування вихлопної вентиляції; - ЗІЗ	- використання вентиляції; - знаки безпеки; - ЗІЗ

На підставі аналізу реєстру встановлено ряд небезпек, що мають високі значення ризику і зустрічаються найчастіше (рис. 1).

- Травма від падіння з висоти
- Травми від обладнання, що рухається
- Травми від вибуху, пожежі
- Електротравма
- Гострі отруєння
- Хімічні та теплові опіки

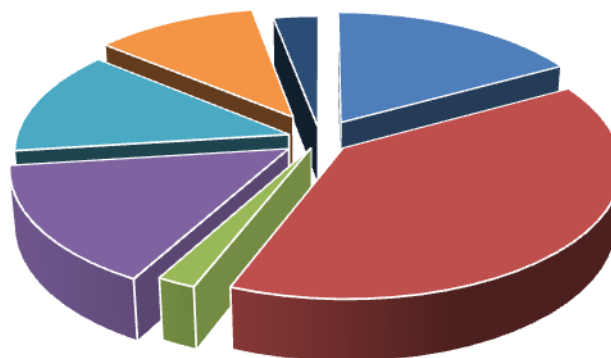


Рис. 1. Розподіл видів ризиків на підприємстві

Таким чином, ризиками, які можливі найчастіше, є: травми від рухомого обладнання (39%); травмування від падіння з висоти (17%); травмування від дії електричного струму (15%). Але найбільшу тяжкість мають небезпеки, пов'язані з отруєнням. Найменший ризик виникнення небезпечних подій, пов'язаних вибухами та пожежами (2%) та хімічними і тепловими опіками (11%).

6. Розробка програми оптимізації витрат при управлінні ризиком небезпечних подій

Існують три стратегії ризику: прийняття ризику, уникнення ризику, управління ризиком. Потрібно не уникати неминучого ризику, а вміти відчувати ризик, оцінювати його величину та не переходити за допустимі межі.

Для визначення ризику визначимо матрицю, строки якої відповідають різним рівням ймовірності, а стовпчики – різним рівням збитку. В клітинках матриці містяться значення ризику. В подальшому, для спрощення розрахунків будемо розглядати тільки три рівня ймовірності та збитку – мінімальний (1), середній (2) и високий (3).

Поставимо задачу управління ризиком – знизити ризик з мінімальними витратами. Зниження ризику досягається за рахунок заходів двох типів. Заходи першого типу зменшують ймовірність настання небажаної події, а заходи другого типу знижують збитки при настанні небажаної події. Прийmemo, для початку, що заходи першого та другого типів не пересікаються. Нехай є n заходів першого типу. Позначимо a_i – зменшення ймовірності p при проведенні i -го заходу, b_i – витрати на проведення i -го заходу. Далі позначаємо A_1 – величину зниження ймовірності, необхідну для переведу даного показника в категорію мінімального ризику, A_2 – величину зниження ймовірності, необхідну для переведу показника в категорію середнього ризику. Позначимо $x_i = 1$, якщо i -й захід увійшов у програму зниження ризику, $x_i = 0$ в іншому випадку.

Постановка завдання:

Визначити $x_i, i = \overline{1, n}$, такі, що $\sum_i b_i x_i \rightarrow \min$,

при обмеженнях $\sum_i a_i x_i \geq A_1$.

Це задача пакування рюкзака, що ефективно вирішується методом дихотомічного програмування при цілочислових значеннях параметрів. На рис. 2 наведено структуру дихотомічного представлення задачі. Вершини $x_1 - x_6$ відповідають набору заходів. У вершинах $y_1 - y_5$ відбувається матрична згортка відповідних показників нижнього рівня.

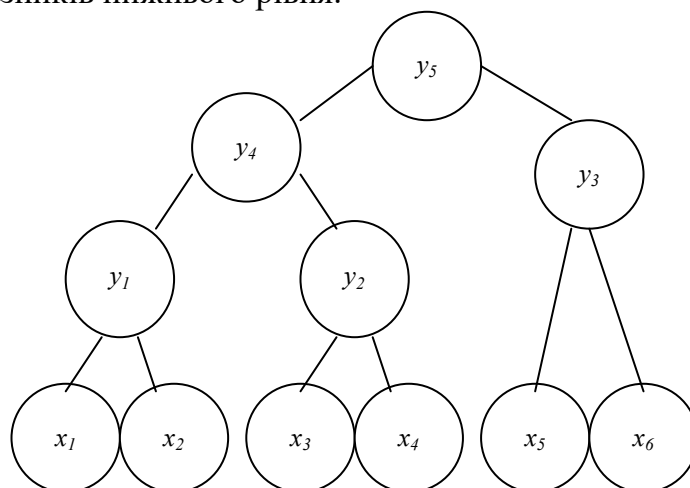


Рис. 2. Структура дихотомічного представлення задачі

Розв'язуючи такого типу задачі для кожного фактора, отримуємо витрати c_{ij}^B , необхідні для зниження ймовірності від високого рівня до рівня $j = 1, 2, 3$. При цьому величина c_{i3}^B відповідає витратам на збереження високого рівня ризику (не допустити катастрофи).

Аналогічні задачі розв'язуються для визначення мінімальної величини витрат c_{ij}^Y , необхідних для зниження величини збитку до мінімального або середнього рівня.

Алгоритм програми зниження ризику:

1. Визначаємо мінімальні витрати на досягнення кожної з оцінок за допомогою матричної згортки. Перше число в матриці – величина оцінки, друге – витрати на досягнення (або збереження) цієї оцінки. Рухаючись знизу догори, отримуємо для кожної оцінки мінімальні витрати (на зменшення ризику від високого до середнього і низького). Для цього із клітинок матриці з однаковими оцінками (перше число) вбираємо клітинку з мінімальними витратами (друга клітинка).

2. Формування варіанту програми, тобто сукупності оцінок факторів, що забезпечують необхідне значення інтегральної оцінки з мінімальними витратами, відбувається методом зворотного ходу. Для цього послідовно, згори донизу, визначаємо, які вихідні дані відповідають вибраній клітинці матриці. Встановивши ці значення знаходимо їх у матрицях нижнього рівня.

Повторюємо це, поки не досягнемо нижнього рівня структури дихотомічного подання, тобто конкретних оцінок факторів ризику. Набір цих оцінок є результатом дії алгоритму.

Результати комплексної оцінки і визначення інтегральної оцінки ризику полягають в наступному. Розглядаємо матрицю визначення рівня небезпеки в залежності від рівня ймовірності та рівня збитку. У кожному осередку матриці записуємо суму мінімальних витрат. З усіх клітин з однаковими рівнями ступеня небезпеки вибираємо осередок з мінімальною сумою. В результаті отримуємо таблицю мінімальних витрат, необхідних на зменшення ступеня небезпеки від максимального до мінімального і середнього рівня.

Є 6 заходів, дані про яких наведені табл. 7.

Табл. 7. Заходи з охорони праці та пов'язаним з цим витрати

	Заходи щодо зниження ризиків, і					
	1	2	3	4	5	6
Зниження ймовірності, a_i	1	2	1	3	2	1
Витрати, b_i	9	16	7	18	18	4

Нехай $A_1 = 0,7$ і $A_2 = 0,4$. Завдання полягає в мінімізації

$$B(x) = 9x_1 + 16x_2 + 7x_3 + 18x_4 + 18x_5 + 4x_6$$

при обмеженнях

$$x_1 + 2x_2 + x_3 + 3x_4 + 2x_5 + x_6 \geq 7.$$

Візьмемо структуру дихотомічного уявлення завдання, наведену на рис. 1.

1 крок. Вирішуємо задачу для заходів 1 та 2. Рішення наведені в табл. 8. Перше число в комірці рівна зменшенню ймовірності (ефект), а друге – витратам. Результати зведені в табл. 9.

Табл. 8. Рішення задачі

1	2;16	3;25
0	0;0	1;9
2	0	1

Табл. 9. Зведені результати

№ варіанта	0	1	2	3
Ефект	0	1	2	3
Витрати	0	9	16	25

2 крок. Вирішуємо задачу для заходів 3 та 4. Результати наведені в табл. 10 і зведені в табл. 11.

Табл. 10. Рішення задачі

1	3;18	4;25
0	0;0	1;7
2 / 1	0	1

Табл. 11. Зведені результати

№ варіанта	0	1	2	3
Ефект	0	1	3	4
Витрати	0	7	18	25

3 крок. Вирішуємо задачу для заходів 5 і 6. Результати наведені в табл. 12 і зведені в табл. 13.

Табл. 12. Рішення задачі

1	1;4	3;22
0	0;0	2;18
2 / 1	0	1

Табл. 13. Зведені результати

№ варіанта	0	1	2	3
Ефект	0	1	2	3
Витрати	0	4	18	22

4 крок. Вирішуємо задачу для об'єднаних заходів (1, 2) і (3, 4). Результати наведені в табл. 14 і зведені в табл. 15.

Табл. 14. Рішення задачі

3	4;25	5;34	6;41	7;50
2	3;18	4;27	5;34	6;43
1	1;7	2;16	3;23	4;32
0	0;0	1;9	2;16	3;25
2 / 1	0	1	2	3

Табл. 15. Зведені результати

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7
Ефект	0	1	2	3	4	5	6	7
Витрати	0	7	16	18	25	34	41	50

5 крок. Вирішуємо задачу для об'єднаних заходів (1, 2, 3, 4) і (5, 6). Результати наведені в табл. 16.

Табл. 16. Рішення задачі

3	3;22	4;29	5;38	6;40	7;47	-	-	-
2	2;18	3;25	4;34	5;36	6;43	7;52	-	-
1	1;4	2;11	3;20	4;22	5;29	6;38	7;45	-
0	0;0	1;7	2;16	3;18	4;25	5;34	6;41	7;50
2 / 1	0	1	2	3	4	5	6	7

Оптимальному рішенню відповідає (7, 45). Для визначення рішення застосуємо метод зворотного ходу. Клітці (7, 45) відповідає варіант 6 табл. 15 і варіант 1 табл. 14. Варіанту 6 табл. 15 відповідає осередок (6; 41). Осередку (6; 41) табл. 14 відповідає варіант 3 табл. 11 і варіант 2 табл. 9. Варіанта 3 таблиці 11 відповідає осередок (4, 25) табл. 10, яка визначає значення змінних $x_3 = 1$, $x_4 = 1$. Варіанту 2 табл. 9 відповідає осередок (2, 16) табл. 8, що визначає значення змінних $x_1 = 0$, $x_2 = 1$. Варіанту 1 табл. 13 відповідає осередок (1, 4) табл. 12 визначає змінних $x_5 = 0$, $x_6 = 1$. Повністю отримуємо рішення:

$$x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = 0, x_6 = 1,$$

яке забезпечує зниження ймовірності на 0,7 з мінімальними витратами 45.

Зауважимо, що одночасно вирішена задача зменшення ймовірності, достатньою для переведення відповідного критерію із середнім ризиком. Дійсно, оптимального рішення в цьому випадку відповідає осередок (4, 22) табл. 16. Цією осе-

редку відповідає варіант 3 табл. 15 і варіант 1 табл. 13. Варіанта 1 табл. 13 відповідає осередок (1, 4) табл. 12, тобто $x_5 = 0$ і $x_6 = 1$. Варіанта 3 табл. 15 відповідає осередок (3, 25) табл. 14. Цією осередку, в свою чергу, відповідає варіант 2 табл. 11 і варіант 0 табл. 9, тобто, $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$, $x_4 = 1$.

Остаточно отримуємо рішення:

$$x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 1, x_5 = 0, x_6 = 1,$$

яке дає зменшення ймовірності 0,4 з мінімальними витратами 22.

Для побудови системи комплексної оцінки для визначення інтегральної оцінки ризику (ступеня небезпеки ризикової події) побудуємо дерево згортки показників (рис. 3).

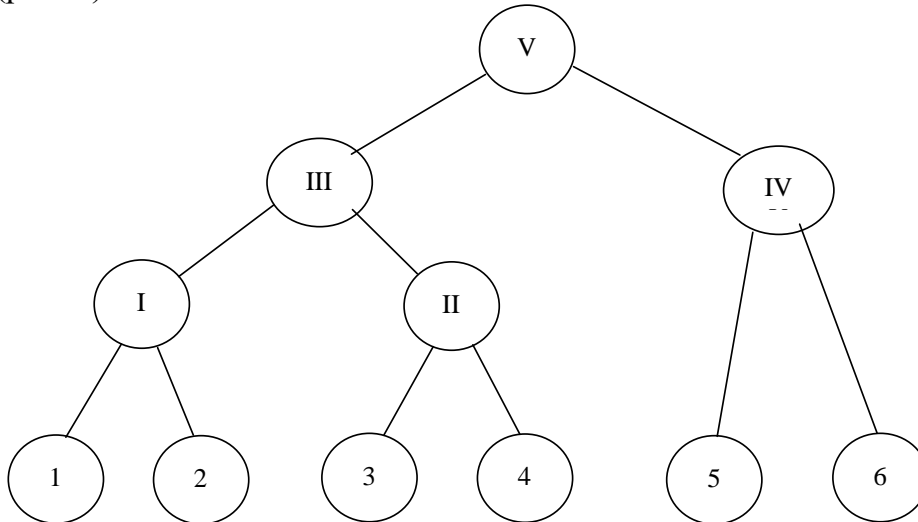


Рис. 3. Дерево згортки показників ризику

Для початку об'єднаємо травмування від падіння з висоти і травмування від рухомого обладнання (I) і травмування від вибуху, пожежі і травмування від дії електричного струму (II), які об'єднуються в небезпеці механічного впливу (III). Потім об'єднаємо отруєння і термічні і хімічні опіки (IV). Нарешті, об'єднуємо механічні та термохімічні ризики (V) і отримуємо інтегральну оцінку зниження небезпеки.

7. Обговорення результатів структурованої оцінки ризиків та процедури зниження ризиків

Особливістю запропонованого алгоритму управління ризиками є послідовне використання двох процедур – формалізованої якісної оцінки ризиків (перший етап) та кількісного аналізу витрат, необхідних для зниження ризиків.

На першому етапі були здійснені ідентифікація та аналіз існуючих ризиків на ДП «Завод «Електроважмаш» з використанням методу структурованої оцінки. В ході виконаної роботи вдосконалено методику оцінки ризику – формула (1) – шляхом введення до складової L показника, що характеризує частоту, з якою працівники піддаються небезпеці, та показника, що характеризує наслідки небезпечної події. За шкалами, наведеними в табл. 1 – 4 встановлено значення показників, що характеризують та визначено відповідні рекомендовані дії за табл. 5 в залежності від отриманих значень величини ризику. Результати дослідження ризику на підприємстві заносилися журналу, фрагмент форми якого представлений у табл. 6. В результаті аналізу ризику були встановлені ряд небезпек, що зустрічаються найчастіше та мають високі значення ризику (рис. 1).

На другому етапі розроблена програма оптимізації витрат при управлінні ризиком на основі дерева згортки показників. Це так звана задача «пакування

рюкзака», дихотомічне представлення якої подано на рис. 2. Задача ефективно вирішується методом дихотомічного програмування при цілочисельних значеннях параметрів. Вихідними даними (табл. 7) є заходи з охорони праці, що призводять до зниження ризиків та мають певну вартість. Вибираємо заходи, які б забезпечували найбільшу ефективність і при цьому мали найменшу вартість. Перше число в матриці (табл. 8 – табл. 16) – величина оцінки, друге – витрати на досягнення (або збереження) цієї оцінки. Рухаючись від низу до верху, отримуємо для кожної інтегральної оцінки мінімальні витрати (на зменшення ступеня небезпеки від високого до середнього і низького). Для цього з клітин матриці з однаковими оцінками (перше число) вибираємо осередок з мінімальними витратами (друга клітина). Формування варіанту програми, тобто сукупності оцінок чинників, які забезпечують необхідне значення інтегральної оцінки з мінімальними витратами, відбувається методом зворотного ходу. Для цього послідовно, зверху вниз, визначаємо, які вихідні дані відповідають вибраній комірці матриці. Встановивши ці значення знаходимо їх в матрицях нижнього рівня. Повторюємо це, поки не досягнемо нижнього рівня структури дихотомічного уявлення, тобто конкретних оцінок факторів ризику (рис. 3). Набір цих оцінок є результатом дії алгоритму.

Висновки

1. Вдосконалено методику структурованої оцінки ризику шляхом введення до складової L показника, що характеризує частоту, з якою працівники піддаються небезпеці, та показника, що характеризує наслідки небезпечної події. Ідентифіковано та проаналізовано наявні ризики виникнення небезпечних подій на заводі «Електроважмаш». Ризиками, які можливі найчастіше, є: травми від рухомого обладнання (39%); травмування від падіння з висоти (17%); травмування від дії електричного струму (15%). Але найбільшу тяжкість мають небезпеки, пов'язані з отруєнням. Найменший ризик виникнення небезпечних подій, пов'язаних вибухами та пожежами (2%) та хімічними і тепловими опіками (11%).

2. На основі задачі «пакування рюкзака» розраховано варіант оптимальних витрат на заходи з охорони праці у підрозділах машинобудівного підприємства, визначено оптимальне рішення, яке дає зменшення ймовірності 0,4 з мінімальними витратами 22, що дозволяє знизити величину ризику небезпечної події до допустимого рівня та забезпечити нормативний рівень безпеки праці на підприємстві. Побудовано систему комплексної оцінки для визначення інтегральної оцінки ризику (ступеня небезпеки ризикової події) у вигляді дерева згортки показників шляхом об'єднання травмування від падіння з висоти і травмування від рухомого обладнання (I) і травмування від вибуху, пожежі і травмування від дії електричного струму (II), які в свою чергу об'єднуються в небезпеці механічного впливу (III); потім об'єднано отруєння і термічні і хімічні опіки (IV); останній етап – об'єднання механічних та термохімічних ризиків (V) і результаті отримано інтегральну оцінку зниження небезпеки.

Література

1. Martínez N. O., Carabel T. C., García S. A. Review of scientific research in ISO 9001 and ISO 14001: a bibliometric. Cuadernos de Gestion. 2021. 21 (1). P. 29–45. doi: 10.5295/CDG.191189NO

2. de Nadae J., de Carvalho M. M. Integrated management systems as a driver for sustainability: The review and analysis of the literature and the proposition of the conceptual framework. Production. 2019. 29. Art. № e20180048. doi: 10.1590/0103-6513.20180048

3. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. 253 (1). P. 1–13. doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.023
4. Bochkovskiy A. Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. № 6. P. 95–103. doi: 10.29202/nvngu/2018/14
5. Zaiats Ye. I., Kravchunovska T.S., Kovalov V. V., Kirnos O. V. Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environmen. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. № 2. P. 123–129. doi: 10.29202/nvngu/2018-2/24
6. Benakka L., Gharbi L., Bacroume S., Bejjaji Z., Aouane M. The implementation of the occupational health and safety management system according to OHSAS 18001/2007 in a Moroccan telecommunication company. *E3S Web of Conferences*. 2021. 234. Art. №. 00074. doi: 10.1051/e3sconf/202123400074
7. Majerník M., Daneshjo N., Chovancová J., Sančiová G. Design of integrated management systems according to the revised ISO standards. *Polish Journal of Management Studies*. 2017. 15 (1). P. 135–143. doi: 10.17512/pjms.2017.15.1.13
8. Prajogo D. I. Experiences of Australian firms in implementing ISO 9001: A comparison of the 1994 and 2000 versions. *International Journal of Productivity and Quality Management*. 2009. 4 (4). P. 383–399. doi: 10.1504/IJPQM.2009.024218
9. Lutoshkin I., Lipatova S., Polyanskov Y., Yamaltdinova N., Yardaeva M. The mathematical model for describing the principles of enterprise management “just in time, design to cost, risks management”. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2019. 199. P. 682–695. doi: 10.1007/978-3-030-12072-6_55
10. Flage R., Aven T., Zio E., Baraldi P. Concerns, Challenges, and Directions of Development for the Issue of Representing Uncertainty in Risk Assessment. *Risk Analysis*. 2014. 34 (7). P. 1196–1207. doi: 10.1111/risa.12247
11. Karkoszka T. Operational monitoring in the technological process in the aspect of occupational risk. *Procedia Manufacturing*. 2017. 13. P. 1463–1469. doi:10.1016/j.promfg.2017.09.192

V. Bezsonnyi¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

R. Ponomarenko², DSc, Senior Researcher, Deputy Head of Department

O. Tretyakov³, DSc, Professor, Sc. consultant

K. Karpets², PhD, Associate Professor, Leading Researcher

¹*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine*

²*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

³*LLC «IPRIS-PROFILE», Kharkiv, Ukraine*

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR OPTIMAL RISK MANAGEMENT OF HAZARDOUS EVENTS AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

The problem of improving the effectiveness of risk management in hazardous events in the machine-building enterprise by using an improved approach to risk assessment and for the first time to optimize the cost of occupational safety measures in the machine-building enterprises used the problem of "backpack packaging" to reduce the risk to acceptable levels. Identification and analysis of existing risks at SE "Plant "Electrovazhmash" were carried out using the method of structured assessment. This took into account not only the possibility of a dangerous event, but also the consequences that may arise from it. It was found that the most common risks are injuries from moving equipment (39%), injuries from falls from a height (17%), injuries from electric shock (15%). But the greatest dangers are associated with poisoning. The procedure for optimal risk management is to determine the minimum cost to achieve each of the integrated assessments using a matrix convolution. This is a problem about backpacks, which is effectively solved by the method of dichotomous programming with integer values of parameters. The first number in the matrix is the value of

the estimate, the second is the cost of achieving (or maintaining) this estimate. Moving from the bottom to the top, we obtain for each integrated assessment the minimum cost (to reduce the degree of danger from high to medium and low). To do this, from the cells of the matrix with the same estimates (the first number) choose a cell with minimal costs (the second cell). The formation of a variant of the program, ie a set of estimates of factors that provide the required value of the integrated assessment with minimal costs, is the method of reversal. To do this, sequentially, from top to bottom, determine which source data corresponds to the selected cell of the matrix. Having set these values we find them in the lower level matrices. We repeat this until we reach the lower level of the structure of the dichotomous representation, ie specific assessments of risk factors. The set of these estimates is the result of the algorithm.

Keywords: risk management, production risk, backpack packaging model

References

1. Martínez, N. O., Carabel, T. C., García, S. A. (2021). Review of scientific research in ISO 9001 and ISO 14001: a bibliometric. *Cuadernos de Gestion*, 21 (1), 29–45. doi: 10.5295/CDG.191189NO
2. De Nadae, J., de Carvalho, M. M. (2019). Integrated management systems as a driver for sustainability: The review and analysis of the literature and the proposition of the conceptual framework. *Production*, 29, art. №. e20180048. doi: 10.1590/0103-6513.20180048
3. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253 (1), 1–13. doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.023
4. Bochkovskiy, A. (2018). Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence. *Naukovyi Visnyk NHU*, № 6, 95–103. doi: 10.29202/nvngu/2018/14
5. Zaiats, Ye. I., Kravchunovska, T. S., Kovalov, V. V. and Kirnos, O. V. (2018). Risk level assessment while organizational-managerial decision making in the condition of dynamic external environmen. *Naukovyi Visnyk NHU*, № 2, 123–129. doi: 10.29202/nvngu/2018-2/24
6. Benakka, L., Gharbi, L., Bacroume, S., Bejjaji, Z., Aouane, M. (2021). The implementation of the occupational health and safety management system according to OHSAS 18001/2007 in a Moroccan telecommunication company. *E3S Web of Conferences*, 234, art. № 00074. doi: 10.1051/e3sconf/202123400074
7. Majerník, M., Daneshjo, N., Chovancová, J., Sančiová, G. (2017). Design of integrated management systems according to the revised ISO standards. *Polish Journal of Management Studies*, 15 (1), 135–143. doi: 10.17512/pjms.2017.15.1.13
8. Prajogo, D. I. (2009). Experiences of Australian firms in implementing ISO 9001: A comparison of the 1994 and 2000 versions. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 4 (4), 383–399. doi: 10.1504/IJPQM.2009.024218
9. Lutoshkin, I., Lipatova, S., Polyanskov, Y., Yamaltdinova, N., Yardaeva, M. (2019). The mathematical model for describing the principles of enterprise management «just in time, design to cost, risks management». *Studies in Systems, Decision and Control*, 199, 682-695. doi: 10.1007/978-3-030-12072-6_55
10. Flage, R., Aven, T., Zio, E., Baraldi, P. (2014). Concerns, Challenges, and Directions of Development for the Issue of Representing Uncertainty in Risk Assessment. *Risk Analysis*, 34 (7), 1196–1207. doi: 10.1111/risa.12247
11. Karkoszka, T. (2017). Operational monitoring in the technological process in the aspect of occupational risk. *Procedia Manufacturing*, 13, 1463–1469. doi:10.1016/j.promfg.2017.09.192

Надійшла до редколегії: 03.03.2021

Прийнята до друку: 12.04.2021