

Л.Д. Третьякова, д-р. техн. наук, професор, ORCID 0000-0002-6909-4864
О.С. Ільчук, канд. техн. наук, ст. викл., ORCID 0000-0001-6352-5320
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АЛГОРИТМ РЕЙТИНГУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ

Запропонована система рейтингування однотипних електроенергетичних підприємств для оцінювання ефективності системи управління охороною праці. Наведено статистичну інформацію стосовно частоти виникнення нещасних випадків та їх наслідки для здоров'я працівників. Розглянуто новітні програми профілактики та усунення потенційних небезпек, які показують доцільність впровадження системи рейтингування. Розроблена методологія оцінки потенційних небезпек на підставі аналізу небезпечних і шкідливих професійних факторів. Розроблено алгоритм рейтингування на основі формальних показників безпеки за узагальненим методом Копленда. Проаналізовано основні причини виникнення нещасних випадків, які призводять до травмування та виникнення професійних захворювань серед працівників атомних електричних станцій. Виконано порівняльну оцінку небезпечних і шкідливих професійних факторів на робочих місцях працівників чотирьох атомних електричних станцій. Наведено результати розрахунків на кожній АЕС показників безпеки: коефіцієнтів виробничого травматизму, профзахворювань, умов праці, небезпечності технологічних процесів та будівель, забезпечення засобами індивідуального захисту, витрат на охорону праці та ризиків настання нещасних випадків. Представлено результати рейтингування чотирьох АЕС.

Ключові слова: *рейтингування; показники безпеки; охорона праці; атомна електрична станція; метод Копленда.*

1. Вступ

Безпека працівників є важливим елементом у системі соціального захисту. Відносини у сфері безпеки та здоров'я працівників регулюються державними законами та галузевими нормативно-правовими актами України. Відбувається реалізація державної політики у цій сфері на всіх рівнях виконавчої влади з використанням механізмів соціального діалогу. Нині в Україні поступово зменшується кількість нещасних випадків та зумовлених ними травм. Інформація, яка наведена у звітних державних документах про стан безпеки праці на виробництві, показує щорічне зменшення кількості загиблих і травмованих працівників. 2013 року кількість загиблих становила 623 особи, кількість травмованих – 9 816 осіб, 2018 року кількість загиблих – 350 осіб, кількість травмованих – 5 286 осіб, 2019 року кількість загиблих – 410 осіб, травмовано – 4 394 осіб, 2020 року кількість загиблих – 422 особи, травмовано – 3 876 осіб [1].

Однак порівняльний аналіз з показниками країн Європейського Союзу (ЄС) свідчить про певні розбіжності у підготовці та оцінюванні умов виникнення нещасних випадків та їх наслідків [2]. Нині розроблено проект нового закону «Про безпеку та здоров'я працівників на роботі», який відповідає чинним міжнародним договорам та Європейським Директивам [3].

2. Постановка (актуальність) проблеми

В Україні керівники підприємств постають перед труднощами в своєму прагненні знизити або усунути професійні ризики через відсутність або небажання вкладання матеріальних ресурсів у основні виробничі фонди. Основними обставинами, внаслідок яких виникли травми або професійні захворювання 2019 року, є: застарілість і зношеність механізмів та робочого інструменту (22,3 % від загальної кількості); недосконалість технологічного процесу (20,9 %); невикористання засобів індивідуального захисту (10,6 %). Майже 61 % нещасних випадків на робочому місці, що призводять до відсутності на роботі більш як три дні, припадає на три галузі: вугільну (гірник очисного забою і прохідник) – 36,7 %; торгівельну (водій автотранспортних засобів) – 15,9 %, будівництво (будівельник) – 8 %. Незадовільні умови праці, робота під впливом небезпечних і шкідливих професійних факторів (НШПФ) є основними причинами виникнення професійних і супутніх до них захворювань [4].

З іншого боку, виробничий травматизм зумовлено низьким рівнем ефективності заходів з виробничої безпеки. Головна спрямованість охорони здоров'я працівників та виробничої безпеки – це запобігання нещасним випадкам на робочому місці через впровадження ефективних заходів безпеки, які доцільно реалізувати за певних умов праці. Управління ризиками є одним з основних заходів, спрямованих на боротьбу з усіма видами професійних травм або захворювань [5].

Комфортні умови праці й фізичне здоров'я співробітників мають важливе значення для виконання своїх професійних обов'язків та розвитку виробництва [6]. З погляду економічних і соціальних витрат, впровадження дієвих заходів із запобігання нещасним випадкам забезпечує суттєву користь [7]. Наслідки від нещасних випадків та професійних захворювань призводять до великих економічних втрат, які пов'язані з втратою працездатності працівниками, із руйнуванням або пошкодженням виробничого устаткування, із зупинкою або затримкою технологічного процесу [8]. У разі нещасних випадків виникають додаткові виробничі витрати, які пов'язані з текучістю кадрів, залученням і навчанням нових працівників, медичними, страховими та юридичними видатками [9]. За оцінками International Labour Organization кожна розвинена країна світу щорічно втрачає через нещасні випадки на виробництві та професійні захворювання до 4 % від загального національного продукту [10].

Стосовно України обсяг витрат від виробничого травматизму та професійних захворювань щорічно з 2014 до 2018 становив до (60...70) млрд грн [11]. Такі витрати зумовлено щорічним припиненням трудової діяльності до 6 тис. працівників, які стали інвалідами, та смертю до 600 осіб. Основні видатки у разі нещасного випадку спричинені виплатами одноразової допомоги та витратами, у разі якщо людина втрачає працездатність і стає інвалідом [12].

В країнах ЄС впроваджено систему, яка передбачає спільну діяльність роботодавця і працівників у визначенні та усвідомлюванні всієї наявної інформації про НШПФ робочого середовища, фактичні умови й характер роботи, взаємодію з іншими ризиками, рекомендації компетентних органів у сфері безпеки та здоров'я працівників на роботі [13].

Для реалізації таких вимог потрібно впроваджувати систему моніторингу та документування ймовірних небезпек на кожному робочому місці [14]. Система моніторингу дає можливість реально оцінити існуючі небезпеки і в подальшому розробити програму профілактики [15]. Програма профілактики задумана як головний інструмент, який можна використовувати для досягнення відповідності із законодавством з безпеки [16]. Програма як мінімум, охоплює такий обсяг інформації: виявлення небезпеки й пов'язані з ними нещасні випадки; оцінки початкового ризику (високий, критичний, допустимий, низький); ідентифіковані заходи щодо зниження ризику; методи щодо вибору заходів і перевірки зменшення ризиків. Мета такої програми полягає в тому, щоб відповідно до зафіксованих НШПФ відстежувати й усувати потенційні небезпеки, пропонуючи певні дії для безпеки та здоров'я працівників.

Невід'ємним етапом зменшення ризику виробничого травматизму та професійних захворювань є процес вибору заходів з усунення виробничих небезпек та прийняття управлінських рішень з охорони праці. Процес прийняття рішень передбачає орієнтацію на кваліфікацію наявного складу працівників, їхню компетенцію, можливі навмисні та ненавмисні помилкові дії, готовність сприймати та дотримуватися встановлених вимог щодо безпеки виконання робіт [17]. Відповідно, порівняльний аналіз управлінських рішень доцільно виконувати на підприємствах в межах окремих галузей. За допомогою порівняльного аналізу можна пояснити наскільки ефективна профілактика, нормативна база, сфера та способи усунення ризиків на кожному конкретному підприємстві.

Головний принцип цієї статті – це вибір стратегії управління безпекою на електроенергетичних підприємствах з великим ризиком. У статті запропоновано рейтингування однотипних підприємств, безпека яких зумовлена особливостями виробничого устаткування. Головним критерієм ефективності методів керування ризиками повинно бути усунення або обмеження НШПФ до допустимого рівня кожному робочому місці.

3. Мета та завдання

Мета статті – розробка формального апарату до оцінки ефективності функціонування системи управління охороною здоров'я та безпеки працівників на електроенергетичних підприємствах з підвищеними ризиками виникнення нещасних випадків з використанням рейтингування за узагальненим методом Копленда. Модифікований до вимог поставлених завдань алгоритм спрямовано на визначення рангової шкали підприємств за стандартизованими показниками безпеки.

4. Матеріал і результати досліджень

Роботи в електроенергетичній галузі віднесено до робіт з підвищеною небезпекою. Під час виконання робіт у діючих електроустановках електротехнічні працівники стикаються з небажаними подіями, вплив яких може становити загрозу для їх життя та здоров'я. Особливу небезпеку становлять роботи під напругою та поблизу електроустановок, що може призвести до: ураження електричним струмом у разі дотику до струмовідних частин; впливу електромагнітного поля промислової частоти; потрапляння під наведену напругу, яка виникає в аварійних режимах або переключеннях у мережах зв'язку, лініях електропередавання низької напруги та металевих конструкціях, які розташовано поблизу діючих електроустановок; потрапляння під дію напруги кроку на поверхні ґрунту; впливу акустичного шуму від трансформаторів,

вітрових електричних станцій і повітряних ліній; виконання робіт на висоті у незручних робочих положеннях.

Інша категорія людей, яка піддається впливу аналогічних НШПФ – це населення, яке проживає поблизу діючих електроустановок зовнішнього розташування. Щорічно фіксують до п'ятдесяти сторонніх осіб, які гинуть у небезпечних зонах поблизу діючих електроустановок.

Аналіз статистичної інформації щодо виникнення нещасних випадків на підприємствах енергетичного комплексу підтверджує високий рівень травмування серед електротехнічних працівників (рис. 1).

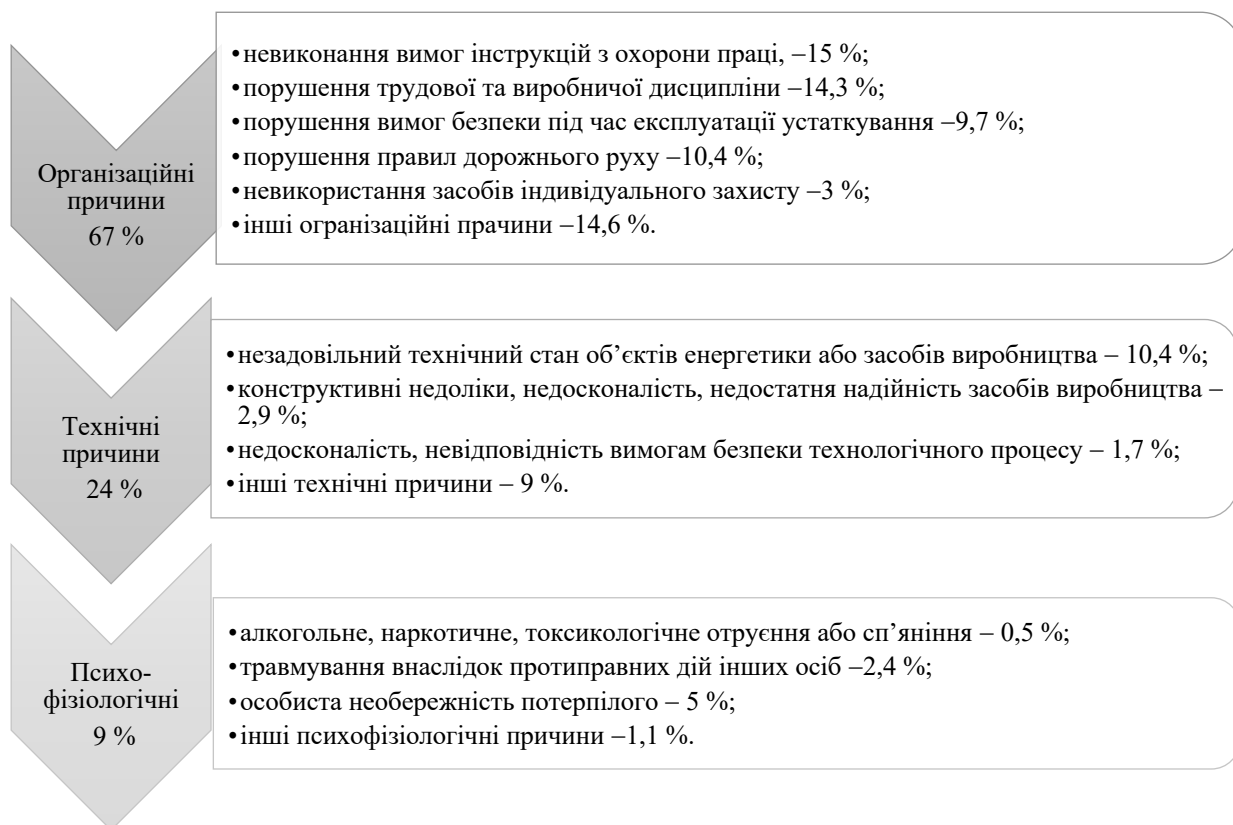


Рисунок 1 – Основні причини виробничого травматизму в галузі електроенергетики

2018 року сталося 85 нещасних випадків, у яких потерпілими були 87 працівників, з них сім – зі смертельним наслідком. У 2017 році зареєстровано 65 нещасних випадків, внаслідок яких травмовано 77 працівників, із них дев'ять – зі смертельним наслідком [18]. 55 % від загальної кількості загиблих припадає на ураження електричним струмом; 30 % – на події, що сталися на транспорті; 10 % – дія температур, пожежі, вибухів, шкідливих і токсичних речовин; 5 % – падіння, обрушення, обвалення предметів, матеріалів, породи, ґрунту. Найбільш травмонебезпечними професіями на підприємствах галузі за останні роки були:

- електромонтер (40 % від загальної кількості загиблих на підприємствах галузі);
- електрослюсар з ремонту обладнання розподільчих пристроїв (25 % від загальної кількості загиблих на підприємствах галузі).

Процес експлуатації електричних станцій, особливо атомних (АЕС), пов'язано зі складними та багатофункціональними виробничими процесами, що створюють небезпеки для працівників і довкілля. Накопичений досвід експлуатації АЕС у світовій практиці свідчить, що навіть найвищі вимоги до якості устаткування не в змозі запобігти виникненню аварійних ситуацій [19]. Зношеність і низький рівень оновлення основних виробничих фондів АЕС України зумовлюють високу аварійність, а застаріла технологічна база призводить до утворення великої кількості НШПФ у ході експлуатації та утилізації радіоактивних відходів [20]. В Україні відповідно до рекомендацій International Atomic Energy Agency ухвалено низку законодавчих документів з промислової безпеки та охорони здоров'я на радіаційно-небезпечних об'єктах [21, 22, 23]. Чинне законодавство визначає основні вимоги до охорони здоров'я працівників від можливої шкоди внаслідок опромінення та ймовірних забруднень довкілля.

У статті запропоновано алгоритм до оцінювання ефективності функціонування системи управління охороною здоров'я і безпеки працівників на прикладі чотирьох діючих АЕС.

4.1. Експериментальна інформація

На АЕС України завдяки впровадженню наявних інженерно-технічних заходів не вдається уникнути впливу НШПФ. На чотирьох АЕС щорічно реєструють високий рівень працюючих в умовах, у яких перевищено гранично допустимі рівні або концентрації НШПФ. Загальна кількість працівників на АЕС налічує більш як 36 тисяч осіб, на допоміжних об'єктах – до 5 тис., жінки становлять до 35 %. Нині більш як 20% персоналу АЕС працює в шкідливих умовах, 40% – в особливо шкідливих умовах, для 69% умови праці на робочому місці не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам. На робочих місцях працівники підпадають під вплив одночасно двох і більше НШПФ, серед яких: шкідливі хімічні речовини (10%); пил й аерозолі (23%); пил та аерозолі з радіонуклідами (16%); вібрація (3%); шум, інфразвук, ультразвук (32%); іонізуючі випромінювання (36 %); неіонізуючі випромінювання (0,9%). Кількість працівників, які перебувають під впливом іонізуючого випромінювання, практично не змінюється [24]. Щорічно через хвороби втрачається 1 600 ... 1 750 робочих днів на 100 працівників, а на всіх АЕС досягає до 40 тисяч днів.

Аналіз умов праці на кожній з чотирьох АЕС виявив певні особливості, про що свідчить статистична інформація за 2015 рік (табл. 1).

Таблиця 1. Інформація про наявність НШПФ

Вид НШПФ	Кількість працюючих в шкідливих умовах, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-Українська АЕС
Шкідливі хімічні речовини	9,7	9,5	3,2	11,2
Пил і аерозолі фіброгенної дії	23	8,7	27	18
Пил і аерозолі з радіонуклідами	15	18	12	20
Вібрація	1,9	9,1	0,15	0,2
Шум, інфразвук, ультразвук	22,2	42,1	40,8	23,3
Іонізуючі випромінювання	38,5	34,4	40,7	33,1
Неіонізуючі випромінювання	1,1	0,6	1,1	0,35
Рідкі радіоактивні відходи	16,3	33,9	33,5	58,8
Біологічні чинники	2,5	-	-	-

Робота на АЕС характеризується високим рівнем важкості та напруженості: до 27,5 % працівників мають третій рівень важкості праці; 31,3 % – підвищений рівень напруженості (табл. 2).

Таблиця 2. Інформація про умови праці персоналу АЕС

Вид робіт	Кількість працюючих з підвищеним рівнем важкості і напруженості, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-Українська АЕС
Підвищена важкість праці	9,7	9,5	3,2	11,2
Незручні робочі пози	23	8,7	27	18
Підвищена напруженість праці	30	31	28	35

Окрім впливу НШПФ 70 % працівників АЕС зазнають електростатичні ризики через наявність статичної електрики на робочих місцях і 22 % працівників – теплові ризики, які спричинено роботою за підвищених температур (40...60) °С з високим рівнем важкості (табл. 3).

Таблиця 3. Інформація про мікрокліматичні умови праці персоналу АЕС

Характеристика показників	Кількість працюючих під впливом електростатичних і теплових полів, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-Українська АЕС
Незадовільні умови мікроклімату	9,7	9,5	3,2	11,2
Підвищена температура назовні	23,1	8,7	27,2	18,1
Наявність статичної електрики на робочому місці	68,1	64,3	72,0	76,0

За роботу в шкідливих і важких умовах працівникам надають пільги, додаткові оплати та пільгові пенсійне забезпечення. Інформація щодо пільг та компенсацій за важку роботу в шкідливих умовах на прикладі Хмельницької АЕС наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Перелік пільг і компенсацій для працівників АЕС

Пільги та компенсації за роботу в шкідливих умовах	Кількість працівників, які отримують пільги, %	Щорічні витрати	
		Загальні, тис. грн	Середні на особу, грн
Додаткові дні до відпустки за роботу в шкідливих умовах	23	4 549	3 855
Додаткові дні до відпустки за важку і напружену роботу	47	11 067	4 230
Скорочений робочий тиждень	37	7 507	3 910
Доплати за шкідливі умови праці	64	12 822	3 855
Додаткові харчові продукти	27	2 002	1 430
Лікувально-профілактичне харчування	37	693	361
Отримання пенсії за пільгових умов	5	1 067	5 091

На Хмельницькій АЕС планують і фінансують заходи з охорони праці: атестація робочих місць; навчання працівників безпечним способам виконання робіт; придбання засобів дезактивації, гігієни та засобів індивідуального захисту тощо. Щорічно на такі заходи витрачають до 6 500 тис. грн. Як свідчить наведена інформація, затрати на впровадження заходів безпеки порівняно з виплатами пільг і компенсацій за роботу у шкідливих умовах (39 707 грн) становлять до 17 %. Це підтверджує висновки інших авторів про неефективність заходів з охорони праці, які не забезпечують допустимих умов праці [25].

4.2. Методи досліджень

Невід'ємним етапом зменшення ризику виробничого травматизму та професійних захворювань є впровадження ефективних управлінських рішень з охорони праці. Вирішення завдань планування та управління найчастіше здійснюють в умовах недостатності або невизначеності потрібної формальної інформації [26]. Окрім числових статистичних даних, інформація може охоплювати інші, неформальні величини, які не підпадають безпосередньому виміру. Оцінювання ризиків виникнення нещасних випадків у майбутньому тільки на підставі статистичних даних з минулого, без урахування технічного та технологічного розвитку виробництва, підвищення компетенцій працівників і культури безпеки, завжди вимагають неформальних припущень, заснованих на певних гіпотезах. Наявність інформації та коректність математичних моделей великою мірою зумовлюють раціональність вибраних рішень.

Виконані дослідження показали, що використання математичних моделей і правил ранжування дає можливість запровадити рейтингову систему за формальними показниками. Встановлення рейтингу серед однотипних підприємств дає змогу комплексно оцінити ефективність функціонування системи управління охороною праці на кожному підприємстві [27]. Рейтинг ілюструє конкурентні переваги одних підприємств над іншими, мотивуючи керівництво до здійснення дій з поліпшення безпеки праці. Доцільність таких щорічних рейтингових оцінок очевидна для об'єктів державної власності. Наприклад, на покращення умов

праці на АЕС щорічно виділяють великі інвестиції, однак, як показує аналіз статистичної інформації за п'ять років, кількість працівників, котрі підпадають під вплив НШПФ та працюють в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, практично не змінюється. Відповідно до діючого законодавства, такі працівники отримають додаткові пільги (див. табл. 4), які вимагають великих грошових ресурсів. Рівень ефективності системи управління охороною праці потрібно контролюватися системно та комплексно, інакше інвестиції будуть витрачені даремно. Рейтингування можна вважати одним із ефективних способів діагностики рівня ефективності управління та планування – комплексною складовою аналізу. Процес оцінювання рівня безпеки через рейтингову оцінку передбачає виконання трьох етапів (рис. 2).

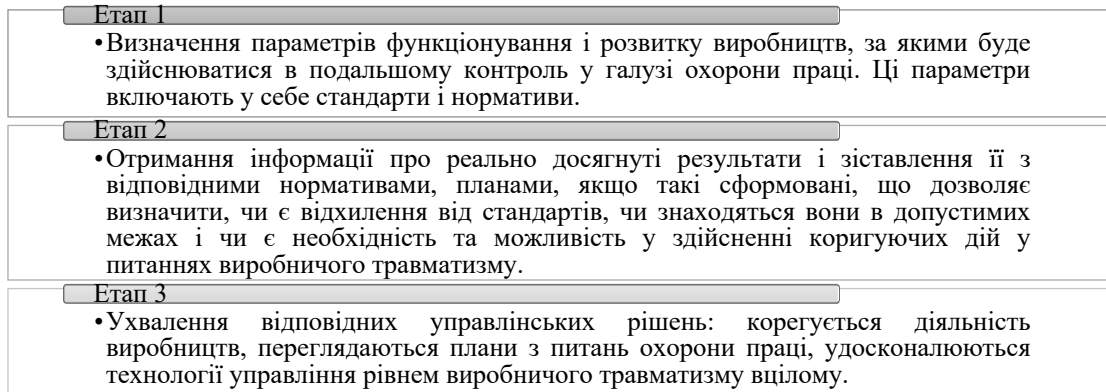


Рисунок 2 – Послідовність рейтингового оцінювання

Ухвалення рішення у ході рейтингування можна розглянути як окремий випадок завдання багатокритеріального вибору на кінцевій безлічі альтернатив $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Запропоновано для рейтингової оцінки використати загальні показники, які відображають рівень безпеки праці. Завдання прийняття рішень під час рейтингування підприємств з однотипними показниками, які визначають рівень безпеки та обмежують НШПФ, можна сформулювати у такий спосіб:

Задано A підприємств, кожне з яких має критерій $F_i(x)$

$$F_i(x) : X \rightarrow \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

і потрібно встановити послідовність розташування $F_i(x)$ в порядку зменшення переваг щодо показників безпеки та обмеження ризиків.

Найбільшою проблемою для формування рейтингу та ранжування є приховування фактів щодо виникнення нещасних випадків та їх наслідків. Неповнота інформації призводить до відсутності лінійного упорядкування всіх елементів, які відображають якісно однакові показники та розміщуються в одній ієрархії. Утворена математична модель за неповної інформації не надає достовірних оцінок до подальшого вирішення. Поповнення інформації здійснюється через парні порівняння з урахуванням відсутніх значень, які можна замінити середніми величинами із загальної сукупності [28]. У такий спосіб отримуємо таблицю парних порівнянь, яка містить поповнену інформацію та придатна до визначення рейтингів різними методами [29]. Вирішення такого завдання у статті реалізовано за узагальненим правилом Коупленда.

Адаптований алгоритм має таку послідовність.

1. Аналізується щорічна статистична інформація щодо показників виробничого травматизму, профзахворювань, умов праці й небезпеки виробничого обладнання та технологічних процесів. Додаткова надається інформація про загальну кількість працівників, кількість нещасних випадків та профзахворювань, імовірності виникнення нещасних випадків, можливі збитки у разі їх виникнення. Виявляються наявні небезпеки та ризики.

2. Розраховуються показники для кожного підприємства A_i .

3. Формується матриця спостережень, яка має вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1i} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{j1} & \dots & x_{ji} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де x_{ji} – j -й показник A_i -го підприємства.

4. Оцінюється парне домінування між кожним підприємством (A_{i-1}, A_i) за всіма показниками. За правилом Копленда надаються оцінки: оцінка (+1), якщо показник x_{ji} менший за значенням; оцінка (-1), якщо показник x_{ji} більший; оцінка (0) за однакових значень показників.

5. Підсумовуючи бали, які отримано у ході парних порівнянь, визначимо оцінку Копленда до кожного показника.

6. Обчислюється коефіцієнт Копленда для кожного підприємства за формулою:

$$K(A_i) = |B(A_i) - W(A_i)|, i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де A_i – умовне позначення i -го підприємства; $B(A_i)$ – кількість підприємств, які мають кращі показники ніж те, яке розглядається; $W(A_i)$ – кількість підприємств, які мають гірші показники ніж те, яке розглядається; m – загальна кількість підприємств у рейтингуванні.

Отриманий у такий спосіб рейтинг кожного підприємства дорівнює різниці між кількістю підприємств з кращими та гіршими показниками.

7. Найвищий рейтинг надається підприємству з найбільшим значенням коефіцієнту Копленда $K(A_i)$.

8. Послідовність розташування підприємств упорядковуються в порядку зменшення $K(A_i)$.

4.3 Результати дослідження

Запропонований алгоритм використано до рейтингування показників з охорони праці на чотирьох АЕС. Оцінки показників отримано зі звітної документації Рівненської АЕС (A_1), Хмельницької АЕС (A_2), Запорізької АЕС (A_3), Південно-Української АЕС (A_4) за 2011–2015 роки. Відповідна інформація наведена у формах № 1-ПВ (Звіт про стан умов праці, пільги та компенсації за роботу із шкідливими умовами праці) і № 1-УБ (Звіт про стан, умови та безпеку праці), затверджених наказом Держкомстату України від 17.07.2007 р. N 223.

Ранжування здійснено за такими показниками: виробничого травматизму, профзахворювань, умов праці, небезпечності технологічних процесів, забезпечення засобами індивідуального захисту, небезпеки будівель та споруд, витрат на охорону праці та ризику настання нещасного випадку (табл. 5).

Таблиця 5. Статистичні показники

Позначення показників	Найменування показника	Формула	Пояснення до формули
$k_{\text{тп}}$	Коефіцієнт виробничого травматизму	$k_{\text{тп}} = \frac{y_1}{N} \cdot 1000$	y_1 – кількість потерпілих у результаті нещасного випадку; N – загальна кількість працівників
$k_{\text{пз}}$	Коефіцієнт профзахворювань	$k_{\text{пз}} = \frac{y_2}{N} \cdot 1000$	y_2 – кількість зареєстрованих профзахворювань.
$k_{\text{уп}}$	Коефіцієнт умов праці	$k_{\text{уп}} = \frac{y_3}{N}$	y_3 – кількість працюючих у незадовільних умовах праці.
$k_{\text{зз}}$	Коефіцієнт забезпечення засобами індивідуального захисту	$k_{\text{зз}} = 1 - \frac{y_4}{y_5}$	y_4, y_5 – реальна і потрібна кількість засобів індивідуального захисту.
$k_{\text{нбс}}$	Коефіцієнт небезпеки будівель та споруд	$k_{\text{нбс}} = \frac{y_6}{y_7}$	y_6 – кількість аварійних будівель та споруд; y_7 – загальна кількість будівель та споруд.
$k_{\text{витр}}$	Коефіцієнт витрат на охорону праці	$k_{\text{витр}} = \frac{C}{C_3}$	C – витрати відшкодування потерпілим від нещасних випадків та профзахворювань, на розслідування і ліквідацію нещасних випадків, на виплату штрафів, затрати на пільги; C_3 – загальний обсяг витрат на заходи з охорони праці
$R_{\text{н}}$	Ризик настання нещасного випадку	$R_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot K$	$P_{\text{н}}$ – ймовірність настання нещасного випадку протягом року; K – коефіцієнт втрати працездатності

Відповідно до наведених формул (табл. 5) обчислено середні значення показників (табл. 6).

Таблиця 6 – Середні значення показників

Показники	Номер показника	Рівненська АЕС	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Південно-Українська АЕС
$K_{тр}$	1	0,12	0,26	0,35	0,14
$K_{пз}$	2	0,12	0,09	0,17	0,14
$K_{уп}$	3	0,13	0,09	0,08	0,78
$K_{зіз}$	4	0,06	0,03	0,05	0,08
$K_{нбе}$	5	0,005	0,002	0,0025	0,004
$K_{витр}$	6	0,078	0,05	0,06	0,69
R_n	7	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$

За результатами розрахунків побудовано таблицю з парними порівняннями (табл. 7).

Таблиця 7. Таблиця парних багатокритеріальних порівнянь

	Показники	Рівненська АЕС	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Південно-Українська АЕС
Рівненська АЕС	$K_{тр}$		0	-1	-1
	$K_{пз}$		1	-1	-1
	$K_{уп}$		1	1	1
	$K_{зіз}$	×	1	1	1
	$K_{нбе}$		1	1	1
	$K_{витр}$		1	1	1
	R_n			1	1
Хмельницька АЕС	$K_{тр}$	1		-1	1
	$K_{пз}$	0		-1	-1
	$K_{уп}$	0		1	1
	$K_{зіз}$	0	×	-1	-1
	$K_{нбе}$	0		-1	-1
	$K_{витр}$	0		-1	-1
	R_n	0		-1	-1
Запорізька АЕС	$K_{тр}$	1	1		1
	$K_{пз}$	1	1		1
	$K_{уп}$	-1	-1		1
	$K_{зіз}$	-1	1	×	-1
	$K_{нбе}$	-1	1		-1
	$K_{витр}$	-1	1		-1
	R_n	-1	1		-1
Південно-Українська АЕС	$K_{тр}$	1	-1	-1	
	$K_{пз}$	1	1	-1	
	$K_{уп}$	-1	-1	-1	
	$K_{зіз}$	1	1	1	×
	$K_{нбе}$	-1	1	1	
	$K_{витр}$	-1	1	1	
	R_n	1	1	1	

Відповідно до розробленого алгоритму (ф. 2) визначено коефіцієнт Коупленда (табл. 8).

Таблиця 8. Сумарні значення оцінок парних порівнянь за всіма показниками

	Рівненська АЕС	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Південно-Українська АЕС
Рівненська АЕС	×	6	3	1
Хмельницька АЕС	1	×	-6	-5
Запорізька АЕС	-5	6	×	-1
Південно-Українська АЕС	1	5	1	×
Сума оцінок	-3	17	-2	-5

На закінчення розрахунків визначаємо зважену оцінку кожного з альтернативних гіпотез за коефіцієнтом Коупленда та здійснюємо їх ранжування (табл. 9).

Таблиця 9. Ранжування за коефіцієнтом Копленда

АЕС	W	B	$K(A_i)$	Ранг
Рівненська АЕС	1	2	-1	3
Хмельницька АЕС	3	0	3	1
Запорізька АЕС	2	1	1	2
Південно-Українська АЕС	0	3	-3	4

Графічна інтерпретація результатів розрахунків (табл. 9) інтегральних оцінок серед усіх альтернатив з визначенням їх пріоритетів представлена на (рис. 3)

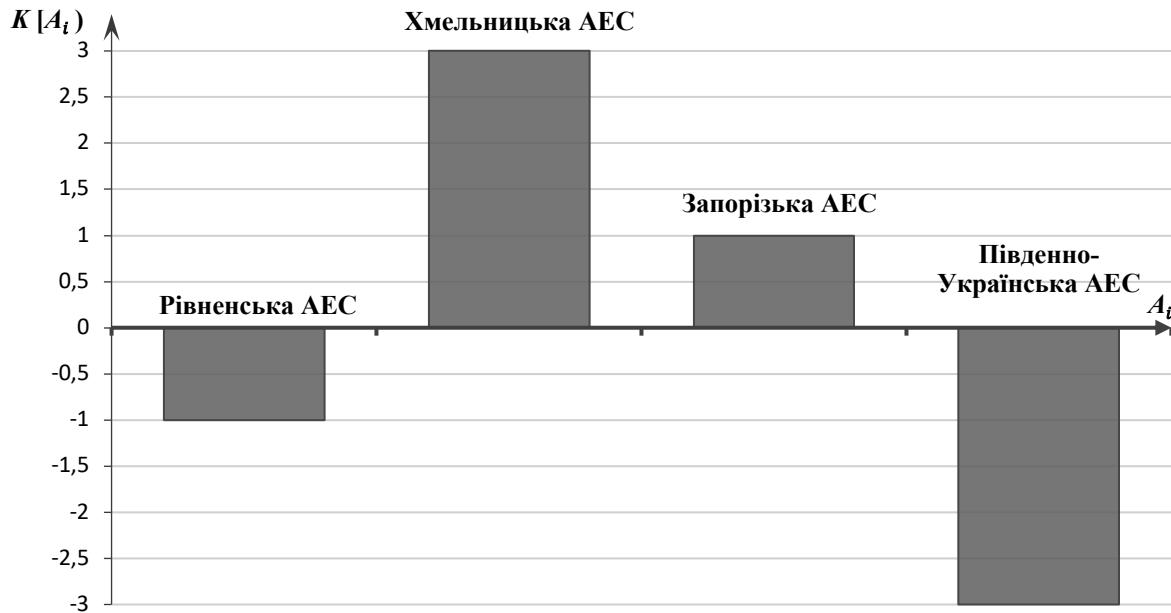


Рисунок 3 – Рейтингова оцінка АЕС

Отримані результати засвідчили, що АЕС, які належать до одного керівного органу НАЕК «Енергоатом» України та отримують щорічно відповідні матеріальні та грошові ресурси на реалізацію безпечних умов праці, мають різні рейтинги за умовами безпеки. Рейтингування дає змогу констатувати, що відповідно до щорічної звітної документації, найбільш ефективно функціонує система управління охороною праці на Хмельницькій АЕС.

Висновки

Результати досліджень, які представлено у статті, дали можливість обґрунтувати доцільність впровадження системи рейтингування однотипних підприємств з метою оцінювання ефективності функціонування системи управління охороною праці.

Запропоновано здійснити рейтингування через побудову таблиці парних порівнянь на основі формальних статистичних показників, які відображають рівень безпеки праці. Таблиця містить такі показники: коефіцієнти виробничого травматизму, профзахворювань, умов праці, небезпечності технологічних процесів і будівель, забезпечення засобами індивідуального захисту, витрат на охорону праці та ризик настання нещасного випадку. Вирішення завдання рейтингування у статті реалізовано за узагальненим методом Копленда. Розроблено алгоритм до вирішення поставленого завдання, який містить такі кроки: визначення показників безпеки за щорічною статистичною інформацією для усіх підприємств; формування матриці спостережень з відповідними значеннями показників; оцінювання парного порівняння між підприємствами за правилом Копленда; підсумування балів за всіма показниками; визначення коефіцієнту Копленда для кожного підприємства. Найвищий рейтинг надається підприємству з найбільшим значенням коефіцієнту Копленда. У статті представлено приклад рейтингування чотирьох АЕС. Щорічна система рейтингування дасть змогу оцінити ефективність функціонування системи охорони праці на підприємстві та запобігти нераціональному витрачання матеріальних і грошових ресурсів.

Список використаної літератури

1. Травматизм на виробництві в Україні у 2020 році, статистичний збірник. URL: www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/05/zb_tv_2017.pdf
2. Таирова Т.М. Проблемні питання охорони праці в Україні. *Проблеми охорони праці*. 2016. № 32. С. 3–15.
3. Проект Закону України «Про безпеку та здоров'я працівників на роботі» URL: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&isSpecial=True&id=2aef0adc-3565-4b0c-a018-df258017427a&title=ProektZakonuUkrainiproBezpekuTaZdoroviaPratsivnikivNaRoboti>.
4. Sheezen Oah, Rudia Na, Kwangsu Moon. The Influence of Safety Climate, Safety Leadership, Workload, and Accident Experiences on Risk Perception: A Study of Korean Manufacturing Workers. *Safety and Health at Work*. 2018, No. 9. P. 427–433.
5. Badri A., Nadeau S., Gbodossou A. Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. *Accident Analysis and Prevention: Construction and Engineering*. 2012. Vol. 48. P. 223–234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.009>
6. Sabourin G. L'efficacité des programmes de Mieux-Être au travail, ça se mesure! Prévention au Travail, Reportage. Institut universitaire en déficience intellectuelle et en trouble du spectre de l'autisme, Québec, 2016. 64 p. URL: http://institutditsa.ca/file/etmi_app_positive_rapport.pdf
7. Tremblay A., Badri A. Assessment of occupational health and safety performance evaluation tools: State of the art and challenges for small and medium-sized enterprises. *Safety Science*. 2018. Vol. 101. P. 260-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.09.016>.
8. Pillay M. Resilience Engineering: An Integrative Review of Fundamental Concepts and Directions for Future Research in Safety Management. *Open Journal of Safety Science and Technology*. 2017. Vol. 7. P. 129-160. DOI : <https://doi.org/10.4236/ojsst.2017.74012>.
9. Huizinga N.C., Davis J.A., Gerr F., Fethke N.B. Association between Occupational Injury and Subsequent Employment Termination among Newly Hired Manufacturing Workers. *International Journal Environmental research and public health*. 2019. Vol. 16, No. 3: 433. DOI : <https://doi.org/10.3390/ijerph16030433>.
10. Safety and Health at Work. *International Labour Organization*. URL: <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm>
11. Профілактика виробничого травматизму. *Звіти фонду соціального страхування України*. URL: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/index>.
12. Форостянина Н.С., Малахін О.В. Про страхову оцінку виробничого травматизму. *Проблеми охорони праці*. 2014. Вип. 28. С. 86–101.
13. Bignon Ch., Badri A. A Comparative Analysis of the Two Main Documents Used in Small and Medium-Sized Enterprises in France and Québec as a Framework for Improving Occupational Health and Safety. *Open Journal of Safety Science and Technology*. 2019. Vol. 9, No. 1. P. 22–36. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojsst.2019.91003>
14. Kruzhilko O., Polukarov O., Kalinchyk V., Tkalych I. Improvement of the workplace environmental physical factors values monitoring by determining the optimal interval for their control. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 99. P. 42–49.
15. Bochkovskiy A. Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence. *Науковий вестник Національного Горного Університета*. 2018. No. 6. С.96–103. DOI : <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018/14>.
16. Joseph A. Dean. A probability risk assessment to support a defensible and quantitative safety assessment of the assault amphibious vehicle. Monterey, CA; Naval Postgraduate School, 2018. 95 p.
17. Kruzhilko O., Maystrenko V. Management decision-making algorithm development for planning activities that reduce the production risk level. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 2019. Vol. 93. P. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.4141>
18. Виробничий травматизм. Міністерство енергетики України. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=202151
19. Ващенко В. Н., Кордуба И. Б., Кризская Ю. М. Сравнительный анализ и радиационно-экологические последствия тяжелых аварий на ЧАЭС и Фукусима-1. *Вісник Криворізького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. Вип. 3. С. 114–123. URL: http://www.kdu.edu.ua/PUBL/statti/2017_3_114-123_3-2017-1.pdf
20. Деренговський В. В., Носовський А. В. Стан проблеми щодо проведення багатокритеріального аналізу безпеки об'єктів із радіаційно-ядерними технологіями. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2018, Вип. 30. С. 31-39. DOI : <https://doi.org/10.31717/1813-3598.18.30.4>
21. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Київ. 1998.

22. Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Київ. 2000.
23. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005). Київ. 2005.
24. Третьякова Л.Д., Селіверстов А.Є. Новітні рішення проблеми індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій : монографія. Київ: Основа, 2016. 197 с.
25. Исламов Т., Деревянкин А. А., Жуков И. В., Берберова М. А., Дядюра С. С., Мардашова Ю. А., Кальметьев Р. Ш. Оценка риска для атомных электростанций с реакторами типа РБМК и ВВЭРР. *ТРУДЫ Московского физико-технологического института*. 2014. Том 6, № 1. С. 146–153. URL: <https://mipt.ru/upload/medialibrary/6f1/146-153.pdf>.
26. Попов В.А., Романюк Р.А. Учет неопределенности информации при многокритериальной оценке альтернативных вариантов применения распределенной генерации. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 1. С. 30–36.
27. Скитович В. Математические методы и модели исследования социальных процессов. Київ. 2005. 122 с. URL: https://socis.ucoz.ru/_ld/0/14_.pdf
28. Коваль Л. В., Смирнов С. А. Варіанти методу парних порівнянь за неповного профілю переваг. *XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики»*, (м. Київ, 25–27 трав. 2017 р.). Київ, 2017. С. 37–39. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/20720>
29. Козин И.В. Правила принятия решений на основе отношения парнодоминантности. *Вісник Запорізького національного університету*. 2008. Вип. 1. С. 97–104. URL: https://web.znu.edu.ua/herald/issues/2008/ped_2008_1/797.ukr.html

L. Tretiakova, Dr. Eng. Sc., Prof. ORCID 0000-0002-6909-4864

O. Ilchuk, Cand. Sc., Assis. Prof. ORCID 0000-0001-6352-5320

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

RATING ALGORITHM DEVELOPMENT FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT

Purpose. *The purpose of the article is development of a rating algorithm to assess the effectiveness of the occupational health and safety management system at electricity companies. The algorithm aims to determine the ranking scale of enterprises according to standardised safety indicators.*

Methodology. *There is a certain level of uncertainty on the existing methods for providing and analysing statistical information on accidents, occupational hazards, occupational injuries and occupational diseases. Planning and management tasks are most often carried out when the necessary formal information is insufficient or uncertain. In addition to numerical statistics, information may include other, informal quantities that cannot be measured. Therefore, logical calculations with multivalued logic or ranking rules and investigate the invariance of selection rules for groups of transformations on a finite set of alternatives can be used to handle such knowledge. The formalisation of the ranking problem based on the Copeland method involves the construction of pairwise comparison tables for all formal safety indicators.*

Obtaining an assessment of the situation occurs with the use of a computer system and a decision support system, which increases the efficiency and accuracy of the assessment of the situation.

Results. *A formal apparatus for rating single-type enterprises to assess the effectiveness of the enterprise occupational health and safety management system in the have been developed using intelligent information technologies.*

Originality. *Based on the Copeland method and the paired comparison method, a safety rating algorithm has been developed, the implementation of which makes it possible to assess the performance of the occupational safety and health system. The results have illustrated the competitive advantage of some enterprises over others and motivate management to take action to improve workplace safety.*

Practical value. *Formalisation of information on hazardous and harmful occupational factors makes it possible to treat the subject area as a complex dynamic system, consisting of objects of a different nature, the totality of which determines the safety level. The developed rating method allows transferring the obtained results to decision-making support systems, illustrating competitive advantages of some enterprises over others, motivating management to take actions to improve occupational safety.*

Keywords: *rating; safety indicators; occupational safety; nuclear power plant; Copeland method.*

REFERENCES

1. Occupational Injuries in Ukraine in 2020, Statistical Compendium. [Online]. Available: www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/05/zb_tv_2017.pdf
2. T.M. Tairova, "Problematic issues of labor protection in Ukraine", *Occupational health and safety issues in Ukraine*, no. 32, pp. 3–15, 2016.
3. Draft law of Ukraine "Safety and health of employees at work», 2021. [Online]. Available: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&isSpecial=True&id=2aef0adc-3565-4b0c-a018-df258017427a&title=ProektZakonuUkrainiproBezpekuTaZdoroviaPratsivnikivNaRoboti>.
4. Oah Shezeen, Na Rudia, Moon Kwangsu, "The Influence of Safety Climate, Safety Leadership, Workload, and Accident Experiences on Risk Perception: A Study of Korean Manufacturing Workers", *Safety and Health at Work*, no. 9, pp. 427–433, 2018.
5. A. Badri, S. Nadeau, A. Gbodossou, "Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation", *Accident Analysis and Prevention: Construction and Engineering*, vol. 48, pp. 223–234, 2012.
6. G. Sabourin, "The effectiveness of workplace wellness programs is measured! Prevention at work, reporting", *University Institute of intellectual disability and autism spectrum disorder*, 2016. [Online]. Available: http://institutditsa.ca/file/etmi_app_positive_rapport.pdf
7. A. Tremblay, A. Badri, "Assessment of occupational health and safety performance evaluation tools: State of the art and challenges for small and medium-sized enterprises", *Safety Science*, vol. 101, pp. 260–267, 2018.
8. M. Pillay, "Resilience Engineering: An Integrative Review of Fundamental Concepts and Directions for Future Research in Safety Management", *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 7, pp. 129–160, 2017.
9. N.C. Huizinga, J.A. Davis, F. Gerr, N.B. Fethke, "Association between Occupational Injury and Subsequent Employment Termination among Newly Hired Manufacturing Workers", *International Journal Environmental research and public health*, vol. 16, no. 3: 433, 2019.
10. Safety and Health at Work. International Labour Organization, 2017. [Online]. Available: <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm>
11. Prevention of Occupational Injuries. *Reports of the Social Insurance Fund of Ukraine*. [Online]. Available: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/index>.
12. O. Forostyana, O. Malykhin, "On the assessment of occupational injuries insurance", *Occupational health and safety issues in Ukraine*, vol. 28, pp. 86–101, 2014.
13. Ch. Bignon, A. Badri, "A Comparative Analysis of the Two Main Documents Used in Small and Medium-Sized Enterprises in France and Québec as a Framework for Improving Occupational Health and Safety", *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 9, no.1, pp. 22-36, 2019.
14. O. Kruzhilko, O. Polukarov, V. Kalinchyk, I. Tkalych, "Improvement of the workplace environmental physical factors values monitoring by determining the optimal interval for their control", *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 99, pp. 42–49, 2019.
15. A. Bochkovskiy, "Actualization of the scientific principles elaboration on evaluating the risks of occupational danger occurrence", *Науковий вестник Національного Горного Університета*, no. 6. pp. 96–103, 2018.
16. A. Joseph, Dean, *A probability risk assessment to support a defendable and quantitative safety assessment of the assault amphibious vehicle*. Monterey, CA; Naval Postgraduate School, 2018.
17. O. Kruzhilko, V. Maystrenko, "Management decision-making algorithm development for planning activities that reduce the production risk level", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 93, pp. 41–49, 2019.
18. Industrial injuries. The Ministry of Energy of Ukraine. [Online]. Available: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=202151
19. Radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97). State hygienic standards, 1988. [Online]. Available: <https://rpi.kiev.ua/results/documents/nrbu-ospu/>
20. Radiation Protection from Potential Exposure Sources (NRBU-97 / D-2000), 2000. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>
21. Basic Sanitary Rules for Radiation Safety of Ukraine (OSPU-2005), 2005. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05#Text>

22. V. Vashchenko, I. Korduba, Yu. Kryzaska, "Analysis and radiation ecological consequences of heavy emergencies at Chernobyl and Fukushima 1", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy national university*, vol. 3, pp. 114–123, 2017.

23. V.V. Derengovsky, A.V. Nosovsky, "State of the problem concerning multicriterial analysis of safety of facilities with radiation-nuclear technologies", *Problems of nuclear power plans and of Chornobyl*, vol. 3, pp. 31–39, 2018.

24. L. Tretiakova, A. Seleverstov, *Modern solutions to the problem of personal protection of nuclear power plant workers*, Kyiv: Osnova, 2016.

25. T. Islamov, A. A. Derevyankin, I. V. Zhukov, M. A. Berberova, S. C. Dyadyura, Yu. A. Mardashova, R. Sh. Kalmetev, "Risk Assessment for NPPs with RBMK and VVER-type", *Reactors Proceedings of Moscow Institute of Physics and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 146–153, 2014.

26. V. Popov, R. Romaniuk "Taking into account of the information uncertainty in the multicriteria evaluation of alternatives of distributed generation integration", *Energy: Economics, technology, ecology*, no. 1, pp. 30–36, 2017.

27. V. Skitovich, *Mathematical methods and models for the study of social processes*, 2005. [Online]. Available: https://socis.ucoz.ru/_ld/0/14.pdf

28. L. Koval, S. Smirnov, "Variants of the paired comparison method with an incomplete advantage profile", *XV International scientific-practical conference of students, postgraduate students and young scientists "Theoretical and applied problems of physics, mathematics and informatics"*, 2017. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/20720>

29. I.V. Kozin, "Decision-making rules based on pairdomination relation", *Bulletin of Zaporizhzhia National University*, no. 1, pp. 97–104, 2008.

Надійшла 15.12.2020

Received 15.12.2020