

Ляшенко С. О.,
Фесенко А. М.,
Кісь В. М.

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна
E-mail:
alla.ecology3006@gmail.com

**ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО
МОНІТОРИНГУ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ
В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-177-185>

УДК 631.45

Ляшенко С.О., Фесенко А.М., Кісь В.М. Інтеграція систем екологічного моніторингу та безпеки праці в умовах енергетичних підприємств.

Анотація. У статті розглядається питання інтеграції систем екологічного моніторингу та безпеки праці на енергетичних підприємствах. Розглянуто сучасні технології IoT та Big Data, що дозволяють забезпечити єдину інформаційну систему для реального часу стану навколишнього середовища та умов праці. Визначено основні напрямки впровадження сучасних інтегрованих технологій у системи екологічного моніторингу та безпеки праці. Проведено аналіз тенденцій у сфері безпеки в процесі впровадження сучасних безпекових технологій. Розкрито ризики та переваги таких інтеграцій з використанням прикладів з української практики.

Ключові слова: екологічний моніторинг, безпека праці, технології IoT та Big Data, оцінка виробничих ризиків.

Liashenko S.O., Fesenko A.M., Kis V.M. Integration of environmental monitoring and occupational safety systems in context of energy enterprises.

Abstract. The article addresses the integration of environmental monitoring and occupational safety systems at energy enterprises. It examines modern technologies such as IoT and Big Data, which enable the creation of a unified information system for real-time tracking of environmental conditions and workplace safety. The main directions for implementing advanced integrated technologies in environmental monitoring and occupational safety systems are identified. The study analyzes current safety trends during the adoption of modern safety technologies. It also highlights the risks and advantages of such integrations, using examples from Ukrainian practice.

Key words: environmental monitoring, occupational safety, IoT technologies, Big Data, occupational risk assessment.

Постановка проблеми

У сучасних умовах, коли питання безпеки праці та дотримання стандартів набувають дедалі більшого значення, організації змушені активно змінювати свої підходи відповідно до нових вимог. Одним із прогресивних рішень є впровадження інтегрованої системи HSE (Health, Safety, and Environment), яка охоплює заходи з охорони праці, безпеки, охорони здоров'я та захисту довкілля.

Систематичний аналіз і модернізація системи охорони праці є необхідними для

підтримання належного рівня захищеності працівників. Такі зміни часто зумовлені оновленням нормативно-правової бази, впровадженням нових технологій або процесів, а також зростанням випадків виробничого травматизму чи професійних хвороб. Зниження працездатності персоналу та невідповідність сучасним стандартам також свідчать про необхідність змін. Проведення аудитів дозволяє виявити вразливі місця, що потребують вдосконалення, а формування культури безпеки стає ключовим елементом побудови ефективної системи охорони праці.

Питання охорони праці та екологічної безпеки традиційно розглядаються окремо, однак сучасні технології дають можливість їх інтеграції в єдину систему моніторингу на підприємствах [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження, проведені за підтримки EU Horizon 2020 та World Bank, свідчать про позитивний вплив комплексної системи середовищного і трудового моніторингу на рівень безпеки та екологічності [1-3].

Необхідність у інтеграції пояснюється потребою системного підходу до подолання ризиків: як небезпек для людини, так і для довкілля.

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності процесів інтеграції систем екологічного моніторингу та безпеки праці на сучасних енергетичних підприємствах, що дозволить виявити основні напрямки, переваги та критичні місця такої інтеграції.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючий досвід інтеграції систем екологічного моніторингу та безпеки праці та різних підприємствах, вивчити інформаційні ресурси, що використовуються для цієї інтеграції, визначити рівень ефективності даної системи та намітити шляхи поглиблення такої інтеграції екологічних та безпекових досліджень.

Результати досліджень

Для узгодження даних із різних джерел і інтеграції в єдину базу з аналітикою на реальних даних за основу взято IoT-системи і сервіси Big Data.

IoT-системи або Інтернет речей (IoT, Internet of Things) це мережа фізичних пристроїв, оснащених датчиками, програмним забезпеченням та іншими технологіями, які з'єднані між собою через Інтернет. У контексті виробничої безпеки IoT включає:

- датчики для вимірювання температури, вологості, рівня шуму, концентрації шкідливих газів тощо;
- засоби стеження за місцезнаходженням працівників;
- «розумні» носимі пристрої, які контролюють пульс, втому, положення тіла.

Ці пристрої забезпечують безперервний моніторинг умов праці та оперативне виявлення потенційно небезпечних ситуацій.

Аналітика великих даних (Big Data) це процес обробки та аналізу надзвичайно великих масивів інформації, які неможливо обробити традиційними методами. У виробничій сфері Big Data виконує такі функції:

- обробка даних з IoT-пристроїв у режимі реального часу;
- виявлення закономірностей, які свідчать про небезпеку (наприклад, коливання температури перед аварією);
- прогнозування ризиків завдяки використанню штучного інтелекту та

алгоритмів машинного навчання.

Згідно з дослідженням McKinsey (2023-2025), використання Big Data у виробничій безпеці дозволяє скоротити кількість інцидентів на 20–30%, а час реагування на надзвичайні ситуації – до 40% [4].

Одним із способів інтеграції охорони праці та екологічної відповідальності є система HSE (охорона здоров'я, безпека та довкілля) для модернізації управління на промислових підприємствах. Ефективне впровадження HSE базується на комплексному підході, який охоплює такі основні етапи:

1. Оцінка ризиків і побудова системи превентивних заходів.

Першочерговим етапом є всебічний аналіз небезпек і професійних ризиків, що дозволяє ідентифікувати критичні загрози для персоналу та довкілля. На основі результатів оцінювання формуються цільові профілактичні заходи в межах HSE-системи.

2. Інтеграція міжнародних стандартів.

Запровадження системи управління охороною праці та навколишнім середовищем відповідно до стандартів ISO 45001 (охорона праці) та ISO 14001 (екологічне управління) забезпечує високий рівень відповідності нормативним вимогам, створює стабільну інфраструктуру безпеки та закладає підґрунтя для подальших удосконалень.

3. Формування культури безпеки.

Ключовим аспектом HSE є розвиток усвідомленого ставлення працівників до безпеки праці. Проведення систематичного навчання, залучення персоналу до процесів ухвалення рішень, мотивація до дотримання стандартів безпеки – все це сприяє формуванню відповідальної культури безпеки. Активна участь працівників у вдосконаленні системи охорони праці разом із навчальними заходами сприяє зміцненню внутрішньої культури безпеки на підприємстві.

4. Постійний моніторинг, аудит та зворотний зв'язок.

Регулярний моніторинг стану безпеки, періодичні внутрішні та зовнішні аудити дозволяють оперативно виявляти недоліки, вчасно вживати коригувальні заходи й підтримувати ефективність системи HSE на високому рівні.

5. Екологічна інтеграція в управлінські безпекові процеси.

Врахування екологічного чинника в прийнятті рішень дає змогу зменшити негативний вплив на довкілля, раціонально використовувати ресурси та зміцнювати екологічну репутацію підприємства.

6. Впровадження інноваційних технологій.

Майбутній розвиток HSE в Україні пов'язується з цифровою трансформацією. Застосування технологій Industry 4.0, автоматизованого моніторингу, інтелектуальних систем аналізу ризиків та цифрових платформ у сферах медицини, екології та енергетики дозволяє забезпечити високі стандарти безпеки та ефективності.

Можна зробити висновок, що системний розвиток HSE сприяє не лише зменшенню ризиків виробничого травматизму та впливу на довкілля, а й покращенню продуктивності, підвищенню задоволеності працівників і формуванню позитивного іміджу підприємства. Постійне вдосконалення системи HSE дозволяє адаптуватися до законодавчих змін, впроваджувати новітні технології та забезпечувати стабільне функціонування підприємства в умовах конкурентного середовища.

Результати наукових досліджень вказують на зниження рівня викидів та кількості інцидентів після впровадження інтегрованих систем моніторингу на підприємствах.

Прикладом успішного впровадження HSE-системи є діяльність ПАТ «Укрнафта», де впровадження інтегрованої системи управління охороною праці,

безпекою та охороною довкілля дозволило суттєво знизити рівень виробничого травматизму та екологічних інцидентів. Зокрема, компанія провела модернізацію обладнання відповідно до міжнародних стандартів ISO 45001 (охорона праці) та ISO 14001 (екологічне управління), запровадила систему звітності та регулярного моніторингу небезпечних факторів. Було також налагоджено навчання персоналу з акцентом на превентивні заходи, а в рамках культури безпеки впроваджено внутрішні комунікаційні кампанії та мотиваційні програми для підвищення свідомого ставлення працівників до власної безпеки [5].

У результаті – скорочення кількості нещасних випадків на 35% протягом двох років та зменшення викидів шкідливих речовин на 20% завдяки екологічним ініціативам. Це свідчить про ефективність комплексного підходу до інтеграції системи HSE в реальні виробничі умови. Аналіз інтеграції систем екологічної безпеки та безпеки праці наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Впровадження HSE-системи в ПАТ «Укрнафта» [5]

Показник / Захід	До впровадження HSE	Після впровадження HSE	Результат / Коментар
Стан виробничої безпеки	Часті порушення, інциденти	Зменшення аварійності на 35%	За 2 роки після модернізації обладнання
Охорона навколишнього середовища	Наднормові викиди	Зменшення викидів на 20%	Завдяки переходу на енергоефективне обладнання
Наявність сертифікації	Відсутня	ISO 45001, ISO 14001	Підвищення міжнародної довіри до підприємства
Навчання персоналу з безпеки	Епізодичне	Регулярне, з практичними тренуваннями	Формування культури безпеки
Система моніторингу та аудиту	Відсутня або фрагментарна	Створена централізована система	Постійне виявлення та усунення ризиків
Рівень залученості працівників у питання безпеки	Низький	Високий	Впроваджено мотиваційні програми

В Україні та світі дедалі більше енергетичних підприємств, що користуються сучасними науковими розробками, впроваджують технології IoT і Big Data з метою посилення екологічної та трудової безпеки. На міжнародному рівні однією з компаній, що активно впроваджує інтегровані системи моніторингу екології та безпеки праці, є Siemens. Вони використовують передові технології IoT для постійного моніторингу своїх виробничих потужностей у різних країнах, що дозволяє підвищити ефективність за рахунок оптимізації робочих процесів та зниження виробничих ризиків для працівників. Крім цього, перспективними можна назвати такі інновації на українських та зарубіжних підприємствах:

- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (Україна): понад 1 000 сенсорів контролюють рівень шкідливих речовин, температуру обладнання, присутність працівників у небезпечних зонах [6].

- «Нафтогаз України»: використовує IoT для моніторингу тиску в трубопроводах; внаслідок цього аварійність зменшилась на 35% [7].
- «Метінвест»: браслети та носимі датчики фіксують втому працівників, що дозволило знизити травматизм на 18%.
- Siemens (Німеччина): платформа Mindsphere здійснює аналітику в режимі реального часу, попереджаючи аварії.
- General Electric (США): Predix використовує Big Data для прогнозу відмов і зменшує втрати на 20%.
- POSCO (Південна Корея): IoT-дані запобігають перегріву в доменних печах, що знижує ризик вибухів.
- ДТЕК: Одним з перших великих енергетичних підприємств України, яке впровадило інтегровані системи моніторингу екологічної безпеки та охорони праці, є компанія ДТЕК. Вони використовують датчики IoT для відстеження рівня викидів на своїх електростанціях, а також системи для моніторингу умов праці. Дані обробляються за допомогою Big Data, що дозволяє прогнозувати аварійні ситуації та оптимізувати роботу підприємства [7].

Зниження викидів у атмосферне повітря можна розглядати як один з факторів зниження і рівня професійної захворюваності серед персоналу енергетичних підприємств. Зв'язок між цими двома процесами відображено у таблиці 2, яка складена на основі даних Державної служби статистики України.

Таблиця 2

Вплив викидів енергетичних підприємств України на екологічну ситуацію та рівень захворюваності працівників

Підприємство	Середній рівень викидів, т/рік	Зміна якості повітря (Δ AQI)	Рівень захворюваності, випадків на 1000 працівників
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	50 000	+20	8
ПАТ «Нафтогаз України»	30 000	+15	6
ГМК «Метінвест»	20 000	+10	5
ТОВ «ДТЕК»	40 000	+18	7

Виходячи з наведених результатів, щодо викидів, якості повітря та рівнів захворюваності ми отримали графічне відображення залежності рівня захворюваності персоналу від обсягу викидів на різних енергетичних підприємствах галузі, що наведене на рис. 1.

Інтеграція систем моніторингу поряд із оцінкою даних за допомогою Big Data дає можливість системно зміцнити культуру безпеки, ергономічну складову та захист на підприємствах. Динаміка викидів на підприємствах енергетичної галузі України за умови удосконалення систем моніторингу на основі статистичних даних наведена на рис. 2. Позитивна динаміка виробничої безпеки спостерігається і за кількістю нещасних випадків на виробництві (рис. 3).

Інтеграція систем охорони праці та екологічної безпеки на енергетичних підприємствах є важливим кроком у напрямку створення ефективної та стійкої інфраструктури для забезпечення здоров'я працівників та збереження навколишнього середовища. Взаємодія між цими двома системами забезпечує не лише ефективне управління ризиками, але й дозволяє знизити потенційні загрози для працівників і довкілля через інтегроване використання сучасних технологій Інтернету речей (IoT) та

аналітики великих даних (Big Data).

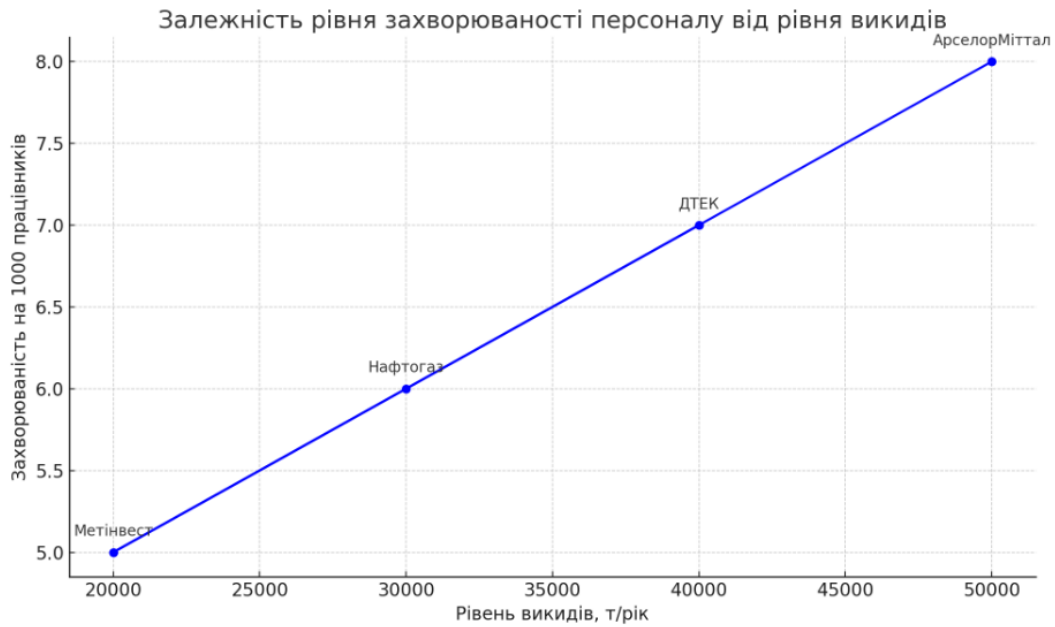


Рис. 1. Залежність рівня захворюваності персоналу від рівня викидів в атмосферу для підприємств енергетичної галузі України.

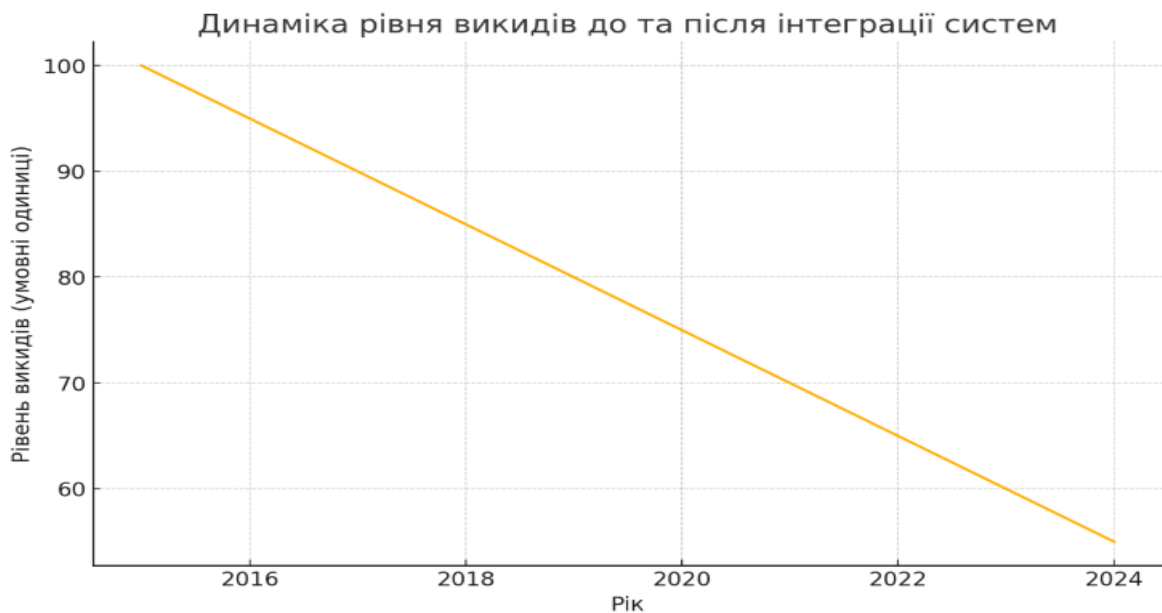


Рис. 2. Динаміка рівня викидів до та після інтеграції систем моніторингу (2015–2024 роки) [8]

Системи охорони праці й екологічної безпеки мають схожі принципи управління ризиками, тому їх інтеграція може стати важливим етапом для забезпечення ефективної роботи енергетичних підприємств. Основні напрямки, де ці системи взаємодіють, включають:

- Моніторинг стану навколишнього середовища та умов праці: Системи екологічного моніторингу дозволяють здійснювати постійний контроль за рівнем забруднення повітря, води, ґрунту, а також за викидами парникових газів, що є

важливими факторами для безпеки працівників. Водночас система охорони праці фокусується на моніторингу фізичних, хімічних та біологічних факторів на робочих місцях, що можуть впливати на здоров'я працівників.

- **Прогнозування ризиків:** Інтеграція даних з обох систем дозволяє точно прогнозувати виникнення аварійних ситуацій на основі як екологічних, так і трудових факторів. Наприклад, при забрудненні навколишнього середовища може зрости ймовірність виникнення пожежі або вибуху на підприємстві, що підвищує ризик травмування працівників.

- **Управління інцидентами:** Взаємодія між системами дозволяє швидко реагувати на екологічні й трудові інциденти, забезпечуючи кращу координацію між службами безпеки праці та екологічними службами підприємства. Оперативне реагування дозволяє мінімізувати наслідки для здоров'я працівників і для довкілля.



Рис. 3/ Динаміка інцидентів на 1000 працівників до та після інтеграції (2015–2024 роки) [9].

Інтеграції систем може бути забезпечена через використання сучасних технологій. Інтернет речей дозволяє сформувати безперервний моніторинг і автоматичний збір даних як для екологічного, так і для трудового моніторингу. Датчики IoT, які встановлюються на виробничому обладнанні, можуть фіксувати рівень викидів, температуру, вологість, рівень шуму та інші показники, що мають безпосередній вплив на здоров'я працівників. Ці ж датчики можуть фіксувати зміни в навколишньому середовищі, що дозволяє швидко реагувати на небезпечні ситуації [9].

Обговорення

За допомогою технологій Big Data можна зберігати й обробляти величезні обсяги даних з різних джерел. Це дозволяє не лише проводити ретроспективний аналіз аварій, але й здійснювати прогностичний аналіз для виявлення потенційних ризиків. Візуалізація таких даних у вигляді графіків та діаграм дозволяє легко відслідковувати тенденції й оцінювати ефективність впроваджених заходів безпеки [10].

Взаємодія систем несе в собі як переваги, так і виклики. До переваг можна віднести:

- Системний підхід до управління безпекою: Інтеграція систем охорони праці та екологічної безпеки дозволяє знижувати ризики як для працівників, так і для навколишнього середовища, покращуючи загальний рівень безпеки на підприємстві.

- Зниження витрат: Інтеграція двох систем допомагає зменшити витрати на окремі моніторингові інструменти й забезпечує зручніше використання ресурсів для підтримки безпеки праці та екологічності.

- Прогнозування та попередження: Використання аналітики для прогнозування ризиків дозволяє вчасно попередити аварії та нещасні випадки, що зменшує можливі економічні втрати та шкоду для репутації підприємства.

Невирішені питання, виклики, елементи певних ризиків пов'язані з наступними аспектами:

- Кіберризика: Підключення до глобальних мереж та використання технологій IoT підвищує ризики кіберзагроз. Несанкціонований доступ до даних може призвести до порушення безпеки праці або маніпулювання результатами моніторингу.

- Технічні проблеми інтеграції: Складність інтеграції різних систем із різними стандартами та протоколами може стати серйозною проблемою. Для досягнення ефективної інтеграції потрібна розробка єдиної інформаційної платформи.

- Залежність від якості даних: Технології Big Data покладаються на точність і надійність зібраних даних. Якщо дані не будуть коректно зібрані або оброблені, це може призвести до хибних прогнозів і ненадійної роботи системи.

- Надмірна залежність від автоматизації: втрачання контролю над процесами у випадку збою або атаки на системи;

- Неправильна інтерпретація даних: ризик прийняття неправильних рішень у разі помилок в алгоритмах аналізу;

Фінансові витрати: значні початкові інвестиції у закупівлю обладнання та навчання персоналу (за даними Deloitte, у середньому до \$150 000 на впровадження базової системи IoT).

Висновки

1. Інтеграція систем екологічного моніторингу та безпеки праці на енергетичних підприємствах забезпечує комплексний підхід до управління ризиками. Використання передових технологій, таких як IoT та Big Data, дозволяє значно підвищити рівень безпеки та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Однак для успішного впровадження таких систем важливо враховувати технічні й кіберризиками, а також складність інтеграції різних підсистем.

Список використаних джерел

1. Ak, M.F., Yucesan, M. & Gul, M. Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach. *Stoch Environ Res Risk Assess* 36, 629–642 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02069-y>

2. Horizon 2020: Industrial Environment and Safety Integration, 2022.

3. World Bank Reports on Green Transition in Eastern Europe, 2023.

4. Jeffery B., Weddle B., Brassey J., Thaker S. Thriving workplaces: How employers can improve productivity and change lives. McKinsey Health Institute: <https://www.mckinsey.com/mhi/our-insights/thriving-workplaces-how-employers-can-improve-productivity-and-change-lives>

5. Українська: <https://www.ukrnfra.com/soczialna-vidpovidalnist>

6. Сайт Нафтогазу <https://gas.ua/uk/certification>
7. Сайт ДТЕК <https://dtek.com> .
8. Банк даних Державної служби статистики України: Режим доступу: <https://stat.gov.ua/uk/explorer>
9. Patel V., Chesmore A., Legner C., 2021. Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. *Advanced Intelligent Systems* //doi.org/10.1002/aisy.202100099
10. SHAIK, M. 2023. "IoT-Enabled Environmental Monitoring for Workplace Safety Compliance in Manufacturing ." OSF. December 29. doi:10.17605/OSF.IO/N63WB.

References

1. Ak, M.F., Yucesan, M. & Gul, M. Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach. *Stoch Environ Res Risk Assess* **36**, 629–642 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02069-y>
2. Horizon 2020: Industrial Environment and Safety Integration, 2022.
3. World Bank Reports on Green Transition in Eastern Europe, 2023.
4. Jeffery B., Weddle B., Brassey J., Thaker S. Thriving workplaces: How employers can improve productivity and change lives. McKinsey Health Institute: <https://www.mckinsey.com/mhi/our-insights/thriving-workplaces-how-employers-can-improve-productivity-and-change-lives>
5. Ukrnafta: <https://www.ukrnafta.com/soczialna-vidpovidalnist>
6. Naftogas: <https://gas.ua/uk/certification>
7. DTEK: <https://dtek.com> .
8. Database of the State Statistics Service of Ukraine: electronic resource. <https://stat.gov.ua/uk/explorer>
9. Patel V., Chesmore A., Legner C., 2021. Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. *Advanced Intelligent Systems* //doi.org/10.1002/aisy.202100099
10. SHAIK, M. 2023. "IoT-Enabled Environmental Monitoring for Workplace Safety Compliance in Manufacturing ." OSF. December 29. doi:10.17605/OSF.IO/N63WB.