Міністерство освіти і науки України Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні

Запорізького національного університету

В.Р. Румянцев

Т.А. Шарапова

О.Є. Сагулякін

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОХОРОНІ ПРАЦІ**

Навчально-методичний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти магістра

спеціальності J4 «Охорона праці»

освітньо-професійної програми

«Охорона праці»

Затверджено вченою радою ЗНУ Протокол № від

Запоріжжя

 2025

Румянцев В.Р., Шарапова Т.А. Сагулякін О.Є. Інноваційні технології в охороні праці : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності J4 «Охорона праці» освітньо-професійної програми «Охорона праці». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2025. 90 с.

У навчально-методичному посібнику подано в систематизованому вигляді програмний матеріал дисципліни «Інноваційні технології в охороні праці», наведені основні напрями використання інноваційних технологій в галузі охорони праці. Особливу увагу приділено залученню до вирішення питань охорони праці таких новітніх технологій як штучний інтелект, віртуальна та доповнена реальність та інші. Наведено приклади розв’язання типових задач з детальними поясненнями. Містить ілюстративний (рисунки, схеми) і табличний матеріали.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності J4 «Охорона праці» освітньо-професійної програми «Охорона праці».

Рецензенти:

*Д.В. Пруцьков* , доктор хімічних наук, професор кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки Запорізького національного університету

*Г.В. Карпенко*, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки Запорізького національного університету

Відповідальний за випуск

*Ю.О. Бєлоконь*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

**ЗМІСТ**

[ВСТУП 5](#_Toc210086659)

[ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ 7](#_Toc210086660)

[ТЕМА 1.1 ПОНЯТТЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ИНСТРУМЕНТУ ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ 7](#_Toc210086661)

[ТЕМА 1.2 ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ 14](#_Toc210086662)

[ТЕМА 1.3 ВИКОРИСТАННЯ ШІ ДЛЯ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ 29](#_Toc210086663)

[ТЕМА 1.4 ЗАСТОСОВУВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ НЕЩАСНИМ ВИПАДКАМ 33](#_Toc210086664)

[ТЕМА 2.1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА СУТНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ. ОСНОВНІ ТИПИ ЗАБРУДНЕНЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 36](#_Toc210086666)

[ТЕМА 2.2 ТЕХНОЛОГІЇ ВЛОВЛЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ЧАСТОК У ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОВИХ ВИКИДАХ 45](#_Toc210086667)

[ТЕМА 2.3. ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 48](#_Toc210086668)

[ТЕМА 2.4 ІННОВАЦІЙНІ УСТАНОВКИ СУХОГО ПРИНЦИПУ ДІЇ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ. 51](#_Toc210086669)

[ТЕМА 3.1 МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ. 57](#_Toc210086671)

[ТЕМА 3.2. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ. 62](#_Toc210086672)

[ТЕМА 3.3. ВИКОРИСТАННЯ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ 64](#_Toc210086673)

[ТЕМА 3.4. ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ 68](#_Toc210086674)

[ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ ЧАСТОТИ ТА ВАЖКОСТІ ТРАВМАТИЗМУ 72](#_Toc210086675)

[ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. РОЗРАХУНОК ВОДОРОЗПИЛЕННЯ ДЛЯ ПИЛОПРИДУШЕННЯ У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ 75](#_Toc210086676)

[ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК РЕКОМБІНАЦІЇ ВОДНЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ РЕАКТОРІВ 78](#_Toc210086677)

[ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ 81](#_Toc210086678)

[РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 85](#_Toc210086679)

[ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 86](#_Toc210086680)

ВСТУП

Метою вивчення навчальної дисципліни «Інноваційні технології в охороні праці» є формування сучасного уявлення про впровадження новітніх засобів, систем і технологій для забезпечення безпеки праці, профілактики виробничого травматизму та поліпшення умов праці в різних галузях.

Дисципліна передбачає набуття навичок з аналізу інноваційних рішень у сфері охорони праці, зокрема, опанування методів застосування штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності, сенсорних систем і цифрових платформ, що сприяють підвищенню ефективності управління ризиками.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Інноваційні технології в охороні праці» є:

* ознайомлення з основами впровадження технологій Industry 4.0 для підвищення рівня охорони праці;
* вивчення теоретичних і практичних аспектів використання штучного інтелекту, хмарних сервісів, інтернету речей та інших цифрових інструментів для моніторингу, аналізу та прогнозування виробничих ризиків;
* опанування сучасних сенсорних і роботизованих систем у сфері безпеки технологічних процесів та обладнання;
* формування навичок аналізу і розв’язання типових задач з охорони праці із застосуванням інноваційних методів;
* вироблення компетентностей щодо оцінювання, впровадження й експлуатації інноваційних систем безпеки на підприємствах різних галузей.

У результаті вивчення дисципліни студенти мають знати:

* структуру й принципи роботи сучасних інноваційних технологій у сфері безпеки праці;
* методи і алгоритми застосування штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності для запобігання нещасним випадкам;
* чинні нормативні вимоги до впровадження інноваційних засобів охорони праці;
* особливості цифрової трансформації управління охороною праці.

Уміти:

* застосовувати інноваційні технології для моніторингу стану здоров’я працівників і виробничого середовища;
* проводити аналіз і прогнозування ризиків з використанням сучасних цифрових інструментів;
* інтегрувати сенсорні системи у виробничі процеси для забезпечення безпеки праці;
* розробляти та впроваджувати інноваційні проєкти з охорони праці на підприємствах;
* аналізувати ефективність роботи засобів інноваційної безпеки та їхнє вдосконалення.

У результаті опанування дисципліни студент має набути таких результатів навчання (знання, уміння, компетентності):

Загальні компетентності:

* здатність використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології;
* здатність до аналізу, пошуку і творчого вирішення інженерних завдань у сфері безпеки праці;
* готовність до навчання впродовж життя й адаптації до технологічних змін.

Спеціальні компетентності:

* здатність розробляти і впроваджувати засоби та системи інноваційної безпеки праці відповідно до сучасних галузевих стандартів;
* володіння методами оцінки й управління ризиками виробничої діяльності із застосуванням інноваційних технологій;
* готовність до професійної діяльності у сфері охорони праці, оцінки та впровадження інноваційних проєктів і систем безпеки.

Дисципліна «Інноваційні технології в охороні праці» структурно пов’язана з такими навчальними курсами, як «Безпека технологічних процесів і обладнання», «Управління ризиками», «Цифрові технології в інженерії», «Основи техногенної безпеки», «Комп’ютеризовані системи моніторингу». Навчально-методичний посібник містить теоретичну і практичну частини: у першій частині розкрито основи та приклади впровадження інноваційних технологій в охороні праці; у другій – наведені рекомендації щодо розв’язання практичних задач, приклади типових розрахунків, завдання для самостійної роботи та питання для підготовки до поточного і підсумкового контролю. Посібник укладено відповідно до силабусу дисципліни «Інноваційні технології в охороні праці».

ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

**ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1**

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У БЕЗПЕЦІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**ТЕМА 1.1 ПОНЯТТЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ИНСТРУМЕНТУ ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ**

***Мета вивчення теми*:** Дослідити можливості та виклики використання штучного інтелекту для підвищення безпеки праці й ефективного запобігання нещасним випадкам на робочому місці.

***План***

1.1.1 Моніторинг здоров’я працівників

1.1.2 Використання даних і прогнозування ризиків

1.1.3 Сенсорні технології для моніторингу виробничого середовища

***Ключові терміни*:** *Штучний інтелект (ШІ), безпека праці, охорона праці (OHS), моніторинг здоров’я працівників, дані, прогнозування ризиків, сенсорні технології, виробниче середовище, носимі пристрої, датчики, Інтернет речей (IoT), машинне навчання, робототехніка, комп’ютерний зір, обробка природної мови, експертні системи, прогнозна аналітика, ризики, небезпеки, благополуччя працівників, системи розумних будівель, енергоефективність, клімат-контроль, управління ресурсами, продуктивність, задоволеність роботою*.

1.1.1 Моніторинг здоров’я працівників

У 1955 році Джон Маккарті першим створив термін «штучний інтелект» (ШІ) [1].Штучний інтелект – це симуляція людського інтелекту в машинах, які запрограмовані думати та вчитися, як люди. Вона передбачає розробку алгоритмів і обчислювальних моделей, які дозволяють машинам виконувати завдання, що традиційно вимагають людського інтелекту. Ці завдання включають вирішення проблем, розпізнавання мови, прийняття рішень, візуальне сприйняття, переклад мови тощо.

Штучний інтелект можна розділити на дві основні категорії: Інтернет речей (IoT), оптимізований для конкретних завдань і добре працює в голосових помічниках, алгоритмах рекомендацій і системах розпізнавання зображень, і генеративний ШІ, тобто системи, які асоціюють слова, навчаються і вирішують складні проблеми, але, незважаючи на свою назву, не такі розумні, як люди [2]. Штучний інтелект включає кілька підгалузей, таких як робототехніка, комп'ютерний зір, обробка природної мови, машинне навчання та експертні системи. Штучний інтелект в основному покладається на машинне навчання, яке використовує алгоритми, що дозволяють комп'ютерам вчитися на досвіді, забезпечуючи «розумні» результати без явного програмування .

З іншого боку, охорона праці (OHS) визначається як міждисциплінарна галузь, що займається захистом і сприянням благополуччю людей на робочому місці. Вона охоплює системний підхід до виявлення, оцінки та пом'якшення ризиків і небезпек, які можуть виникнути в результаті діяльності, пов'язаної з роботою . Основними цілями охорони праці є запобігання травмам, захворюванням та летальним випадкам серед працівників, а також створення та підтримання робочого середовища, що сприяє фізичному, психічному та соціальному здоров'ю працівників .

В даний час штучний інтелект дозволяє в режимі реального часу відстежувати небезпеки на робочому місці, виявляти та активно реагувати на ризики, а також вдосконалювати профілактичні заходи за допомогою прогнозної аналітики на основі прогнозів тенденцій здоров'я штучного інтелекту [3].

 Впровадження штучного інтелекту не тільки покращує протоколи безпеки, але й сприяє комплексному підходу до благополуччя працівників, знаменуючи собою зміну парадигми в галузі охорони праці з підвищенням ефективності та точності. З іншого боку, інноваційне використання штучного інтелекту на робочому місці створює значні виклики для фахівців з охорони праці, яким необхідно глибше зрозуміти підходи до штучного інтелекту та їх можливі наслідки для роботи та працівників, коли додатки на основі штучного інтелекту впроваджуються на робочому місці. Оскільки технології штучного інтелекту використовуються на робочому місці, вкрай важливо максимізувати їх потенційні переваги для охорони праці, мінімізуючи при цьому будь-які потенційні недоліки.

1.1.2 Використання даних і прогнозування ризиків

Носимі пристрої та датчики на робочому місці мають вирішальне значення для підвищення добробуту, безпеки та загальної продуктивності працівників [4]. Ці пристрої зазвичай використовуються для моніторингу різних показників здоров'я, включаючи життєво важливі показники, вжиті кроки та режим сну, виявлення втоми або рівня стресу, а також негайного сповіщення працівників та керівників у разі надзвичайних ситуацій або потенційних ризиків для здоров'я. Під IoT розуміється мережа взаємопов'язаних фізичних пристроїв, об'єктів і систем, які спілкуються і обмінюються даними через Інтернет. У контексті робочого місця IoT передбачає вбудовування різних датчиків та інших розумних пристроїв в інфраструктуру для збору та обміну даними. Численні дослідження показали, що компанії можуть використовувати дані з носимих пристроїв, датчиків та IoT, посилені штучним інтелектом, для виявлення потенційних ризиків для здоров'я, таких як підвищений рівень стресу або нерегулярний режим сну. Крім того, дані, зібрані носимими пристроями та IoT, можуть бути маніпульовані штучним інтелектом для інформування про впровадження цільових оздоровчих програм, включаючи персоналізовані фітнес-плани та семінари з управління стресом, для підтримки загального благополуччя співробітників. У небезпечних робочих середовищах, таких як будівництво, гірничодобувна промисловість та виробництво, спеціалізовані носимі пристрої, такі як розумні шоломи, оснащені датчиками, можуть виявляти шкідливі гази, контролювати умови навколишнього середовища та оцінювати травми голови. Ці носимі пристрої, інтегровані зі штучним інтелектом, запускають автоматичні сповіщення або екстрене реагування у разі аварій, забезпечуючи своєчасну допомогу та запобігаючи важким наслідкам [5]. Отже, інтеграція носимих пристроїв, датчиків та штучного інтелекту дає можливість як роботодавцям, так і працівникам надавати пріоритет здоров'ю та безпеці, що призводить до підвищення продуктивності, зменшення кількості прогулів та підвищення задоволеності роботою. У міру розвитку цих технологій ми можемо очікувати ще більш складні програми, які в майбутньому змінять ландшафт моніторингу здоров'я на робочому місці.

Сенсорна технологія виходить за рамки носимих пристроїв і закінчується моніторингом здоров'я на робочому місці, при цьому датчики навколишнього середовища на робочих місцях виявляють такі фактори, як температура, вологість, рівень шуму та якість повітря . У поєднанні з системами, керованими штучним інтелектом, ці датчики оцінюють загальний стан здоров'я та безпеку на робочому місці, виявляючи потенційні небезпеки та активно покращуючи умови.

Штучний інтелект може оптимізувати системи розумних будівель для підвищення енергоефективності при збереженні оптимальних умов для комфорту співробітників. Це включає інтелектуальний клімат-контроль, освітлення, управління ресурсами на робочому місці.

1.1.3 Сенсорні технології для моніторингу виробничого середовища

Програми виявлення небезпек допомагають захиститися від різних ризиків, таких як небезпечні умови праці, працівники без захисного одягу, неправильне використання інструментів та обладнання, небезпека спотикання та падіння, залишення без нагляду транспортних засобів, неналежне обладнання та інші питання відповідності. Галузі промисловості можуть використовувати системи штучного інтелекту для вивчення зображень і відео з робочих місць, виявляючи потенційні небезпеки, які можуть вислизнути від спостереження людини. Наприклад, Управління з охорони здоров'я та безпеки Великої Британії розробило програму штучного інтелекту під назвою Estimation and Assessment of Substance Exposure (EASE) для оцінки професійного впливу певних речовин на робочому місці. Крім того, штучний інтелект може відігравати певну роль у прогнозуванні поломок машин. За допомогою аналізу даних датчиків на машинах ШІ може виявляти аномальні закономірності, які сигналізують про потенційну несправність. Це завчасне виявлення дозволяє компаніям виконувати технічне обслуговування до того, як машина вийде з ладу, запобігаючи потенційним аваріям. Крім того, програми штучного інтелекту можуть виявляти, оцінювати та пом'якшувати ризики шляхом аналізу даних та виявлення закономірностей і аномалій [6]. Однак було проведено мало досліджень, щоб продемонструвати позитивні та негативні аспекти інтеграції штучного інтелекту в процес оцінки ризиків та нагляду за здоров'ям на робочих місцях. Це може бути пов'язано з тим, що інтеграція штучного інтелекту в галузь все ще знаходиться на ранніх стадіях, і основна увага в даний час зосереджена на його впливі на нагальні проблеми, такі як безпека та відповідність нормативним вимогам.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як респіратори, захисне взуття, навушники та захисні окуляри, завжди відігравали вирішальну роль у захисті працівників від різних небезпек на робочому місці. Коли завдання створює невід'ємні ризики, які не можуть бути достатньо контрольовані за допомогою колективних технічних або організаційних заходів, використання ЗІЗ стає необхідним для того, щоб працівники могли виконувати свої завдання зі зниженим ризиком травматизму. Надійність та ефективність ЗІЗ мають першорядне значення, відповідаючи встановленому принципу ієрархії профілактики.

Під розумними ЗІЗ маються на увазі ЗІЗ, які поєднують традиційні ЗІЗ (наприклад, захисний костюм пожежника) з електронікою, такою як датчики, детектори, модулі передачі даних, акумулятори, кабелі та інші елементи [7]. Поєднуючи технології штучного інтелекту з інтелектуальними засобами індивідуального захисту, він активно відстежує та адаптується до мінливих умов навколишнього середовища, виявляючи небезпеки, оцінюючи якість повітря та надаючи сповіщення в режимі реального часу. Ця інновація покращує комунікацію та сприяє проактивному підходу до безпеки праці, забезпечуючи безпечніше робоче середовище в різних галузях.

Насильство на робочому місці є поширеною проблемою в усьому світі, яка становить ризик для психічного здоров'я працівників. Більш ніж кожна п'ята людина (майже 23 %) у сфері зайнятості стикалася з насильством та домаганнями на роботі, як фізичними, психологічними, так і сексуальними. Штучний інтелект може відігравати важливу роль у запобіганні насильству на робочому місці. Обробка природної мови (NLP) – це техніка з інформатики, яка допомагає аналізувати великі масиви тексту. Використовуючи NLP, ШІ може сканувати електронні листи та файли на наявність невідповідної мови, попереджаючи менеджерів при виявленні таких фраз. Завдяки розпізнаванню голосу штучний інтелект може розпізнавати вимовлені фрази на зустрічах, генеруючи детальні звіти для реагування на випадки домагань.

Близько 60% людей з розладами, пов'язаними з вживанням психоактивних речовин (SUDs), в даний час зайняті [8]. Отже, вживання працівниками алкоголю та наркотиків може шкідливо впливати як на працівників, так і на робоче місце, що призводить до прогулів, високої плинності кадрів, зниження продуктивності праці та інших проблем з безпекою. Штучний інтелект може сприяти більш ефективним і точним процесам скринінгу на наркотики та алкоголь на робочому місці. Автоматизовані системи можуть аналізувати біологічні зразки, забезпечуючи дотримання правил безпеки та сприяючи створенню робочого середовища, вільного від речовин.

Інструменти на основі штучного інтелекту все частіше використовуються для моніторингу та вирішення проблем психічного здоров'я на робочому місці, що можна зробити за допомогою систем віддаленого моніторингу здоров'я шляхом відстеження життєво важливих показників і показників здоров'я та надання інформації в режимі реального часу медичним працівникам для раннього виявлення проблем зі здоров'ям серед працівників. Крім того, НЛП може відігравати певну роль в аналізі комунікації працівників на наявність ознак стресу, забезпечуючи своєчасні втручання та підтримку. Це дозволяє організаціям впроваджувати профілактичні заходи для підтримки психічного здоров'я та благополуччя працівників.

У своєму огляді літератури Moshawrab et al., 2022, обговорили важливість використання інтелектуальних носимих пристроїв, інтегрованих у штучний інтелект, для скринінгу та виявлення професійної фізичної втоми серед працівників. Вони повідомили, що розумні носимі пристрої, інтегровані в штучний інтелект, довели їхню корисність для виявлення та скринінгу втоми на роботі, що може обмежити шкідливий вплив втоми на працівників .

Порушення опорно-рухового апарату (ЗМСД) вважаються важливою причиною виробничого травматизму на робочому місці, що призводить до збільшення кількості відсутніх на роботі. З іншого боку, ергономіку можна визначити як коригування робочого середовища, інструментів та поз працівника для запобігання ЗМСД, спричинених ергономічними факторами ризику, такими як незручна поза, повторювані рухи та надмірна сила на роботі. Ергономісти зазвичай оцінюють ергономічні фактори ризику кожного працівника за допомогою таких методів, як постуральний аналіз, антропометричні показники, дослідження руху та часу, біомеханічні моделі, оцінка сили та оцінка витрат енергії . Останнім часом кілька досліджень показали можливість поліпшення ергономічного аналізу за рахунок комбінованого використання штучного інтелекту і носимих датчиків [9]. Програми охорони здоров'я за допомогою штучного інтелекту можуть аналізувати ергономічні фактори та індивідуальні антропометричні дані для прогнозування та запобігання порушенням опорно-рухового апарату на робочому місці. Носимі пристрої, керовані штучним інтелектом, можуть безперервно аналізувати рухи та пози тіла працівників, щоб розпізнавати рухи, які можуть становити ризик травмування. Потім працівникам надсилаються оповіщення, щоб зменшити потенційну можливість довгострокових проблем зі здоров'ям .

Боти, скорочено від robots, – це автоматизовані програмні програми, призначені для виконання конкретних завдань. Найважливішими ботами, які використовуються в промисловості, є колаборативні роботи (Cobots) і чат-боти. Колаборативні роботи, які часто називають коботами, призначені для роботи в безпосередній близькості від людей, сприяючи створенню середовища співпраці та співпраці . На відміну від традиційних промислових роботів, які працюють ізольовано або за бар'єрами безпеки, коботи спроектовані таким чином, щоб ділити робочий простір з людьми-операторами. Ця співпраця спрямована на підвищення продуктивності та безпеки в таких секторах, як виробництво та логістика. Чат-боти – це боти, призначені для спілкування з користувачами, і вони широко використовуються в обслуговуванні клієнтів, забезпечуючи швидкі та автоматизовані відповіді на запити . Автоматизація за допомогою штучного інтелекту та машинного навчання (ML) підвищує ефективність роботів, особливо у виконанні небезпечних завдань, включаючи перевірку безпеки небезпечних середовищ, технічне обслуговування та поводження з небезпечними матеріалами [10].

Використовуючи датчики IoT, штучний інтелект може відстежувати та перевіряти кожного окремого працівника на різних рівнях, гарантуючи, що робочі місця дотримуються стандартів безпеки, мінімізують юридичні ризики та сприяють культурі дотримання. Це включає моніторинг місцезнаходження працівників, відстеження життєво важливих показників, попередження працівників про небезпеку для навколишнього середовища, надання точної інформації віддаленим працівникам, зниження ризику фізичних травм та підвищення кваліфікації персоналу.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) - це комп'ютерні інструменти або системи, що підтримують діяльність з прийняття рішень в організації. Вони забезпечують інтерактивний доступ до баз даних і допомагають користувачам аналізувати складні дані, формувати звіти та приймати рішення на основі отриманої інформації . СППР на основі штучного інтелекту може допомагати менеджерам і керівникам у прийнятті обґрунтованих рішень шляхом аналізу складних наборів даних, виявлення закономірностей і надання інсайтів і рекомендацій. Ці системи використовують такі методи, як інтелектуальний аналіз даних, машинне навчання та NLP, щоб допомогти у прийнятті рішень у різних галузях.

Незважаючи на величезний потенціал штучного інтелекту для підвищення безпеки на робочому місці, його впровадження пов'язане з проблемами та етичними проблемами. Розробка та впровадження систем штучного інтелекту може бути дорогим і може вимагати значних інвестицій в апаратне, програмне забезпечення та навчання .

Високоякісні дані необхідні штучному інтелекту для точної оцінки ризиків і надання ефективних рекомендацій. Якщо використані дані є неповними, застарілими або неточними, це може суттєво вплинути на продуктивність системи штучного інтелекту, що може призвести до помилкових прогнозів і потенційно призвести до загроз безпеці. Подібно до людей, штучний інтелект схильний до посилення упередженості, якщо він навчається на упереджених даних. Отже, вкрай важливо забезпечити, щоб системи штучного інтелекту навчалися на збалансованих і репрезентативних даних для пом'якшення таких упереджень.

Штучний інтелект потенційно може революціонізувати методи охорони здоров'я та безпеки, вводячи етичні міркування, які необхідно враховувати. Критичні етичні питання включають забезпечення конфіденційності та безпеки даних, враховуючи, що системи штучного інтелекту покладаються на великі набори даних, що містять особисту інформацію, таку як носимі пристрої та датчики. Тому важливо гарантувати етичний і безпечний збір, використання та зберігання цих даних. Крім того, виникають занепокоєння щодо упереджень та дискримінації, притаманних системам штучного інтелекту, що випливають із даних, на яких вони навчаються, що призводить до потенційного несправедливого або дискримінаційного прийняття рішень. Крім того, можливості автоматизації штучного інтелекту викликають занепокоєння щодо переміщення робочих місць, що спонукає задуматися про необхідність набуття фахівцями з безпеки нових навичок у відповідь на мінливі завдання [11].

Інтеграція штучного інтелекту в охорону здоров'я та безпеку може негативно вплинути на психічне здоров'я працівників, включаючи занепокоєння та стрес, пов'язані з автоматизацією роботи, або потенційну можливість того, що помилки штучного інтелекту можуть призвести до нещасних випадків.

Працівники можуть відчувати втрату контролю в середовищі, яке контролюється системами штучного інтелекту, відчувати ізоляцію та відірваність від людських колег при більшій взаємодії зі штучним інтелектом, а також відчувати зменшення почуття сенсу та мети, коли їхні завдання автоматизуються штучним інтелектом.

Визнання та врегулювання цих емоційних впливів має важливе значення для створення позитивного та сприятливого робочого середовища під час впровадження технологій штучного інтелекту.

Надзвичайно важливим є врахування ролі лікарів-профпатологів, виключених з алгоритмічних визначень, а також потенційних організаційних та оціночних наслідків, що виникають у результаті такого виключення. Це привертає увагу до критичного взаємозв'язку між медичними працівниками, технологіями та нормативно-правовою базою, наголошуючи на важливості залучення лікарів-професіоналів у дискусіях щодо впровадження штучного інтелекту та дотримання існуючих законів і правил.

**Питання для самоконтролю**

1. Які основні функції виконує штучний інтелект, використовуючи IoT-пристрої на робочому місці?
2. Що таке системи підтримки прийняття рішень (СППР) і як вони допомагають у діяльності організації?
3. Які методи використовують СППР на основі штучного інтелекту для аналізу даних?
4. Які основні недоліки та проблеми виникають при впровадженні штучного інтелекту в сфері охорони праці?
5. Чому якість даних є критично важливою для ефективного функціонування систем штучного інтелекту?
6. Які етичні питання пов’язані з використанням штучного інтелекту на робочому місці?
7. Які потенційні наслідки виникають через упередженість даних у системах штучного інтелекту?
8. Як автоматизація, яку впроваджує штучний інтелект, може вплинути на зайнятість і необхідність нових навичок?
9. Які ризики для психічного здоров’я працівників можуть виникати внаслідок впровадження штучного інтелекту?
10. Чому важливо залучати лікарів-профпатологів та інших професіоналів у процес впровадження штучного інтелекту на підприємствах?

ТЕМА 1.2 ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ

***Мета вивчення теми***: ознайомлення здобувачів освіти з можливостями використання штучного інтелекту для моніторингу й прогнозування небезпечних ситуацій у виробничій сфері, розкрити переваги впровадження ШІ, показати практичні приклади та навчити аналізувати ефективність сучасних технологій для підвищення безпеки та ефективності виробництва.

***План***

* + 1. Застосування ШІ для моніторингу та прогнозування небезпечних ситуацій
		2. Ключові переваги впровадження ШІ
		3. Практичні приклади використання ШІ у виробничому процесі

*****Ключові терміни****: штучний інтелект, моніторинг, прогнозування, виробництво, Індустрія 4.0, машинне навчання, обробка природної мови, комп’ютерний зір, цифрова трансформація, ланцюжок поставок, профілактичне обслуговування, аналітика даних, ефективність, точність, інновації*

1.2.1 Застосування ШІ для моніторингу та прогнозування небезпечних ситуацій

Штучний інтелект (ШІ) став трансформаційною силою в різних галузях, і виробництво не є винятком. Впровадження технологій штучного інтелекту революціонізує роботу на виробничих лініях, виробничі процеси та переводить виробництво в нову еру [12].

Оскільки виробничий сектор продовжує впроваджувати інновації та цифрову трансформацію, штучний інтелект відіграє все більш важливу роль у майбутньому галузі. Досягнення в галузі машинного навчання, обробки природної мови та комп'ютерний зір розширює можливості виробників Приймати більш розумні рішення, оптимізувати процеси та вирішувати проблеми раніше немислимими способами. У багатьох випадках штучний інтелект інтегрується у виробничий процес, щоб допомогти організаціям стати більш адаптивними та реагувати на вимоги та коливання ринку.

За допомогою штучного інтелекту виробники можуть досягти безпрецедентного рівня ефективності, точності та продуктивності. Машини на основі штучного інтелекту можуть працювати цілодобово, без необхідності перерв, і можуть виконувати завдання з безпрецедентною точністю, знижуючи ризик людської помилки. Це не тільки покращує якість продукції, але і допомагає виробникам економити час і гроші.

Ця зростаюча роль штучного інтелекту у виробництві ще більше підживлюється Індустрією 4.0, четвертою промисловою революцією, зосередженою на цифровізації та підключенні. Нова парадигма прискорила впровадження інтелектуальних технологій по всьому ланцюжку створення вартості, і штучний інтелект, безсумнівно, є одним із ключових факторів цих змін.

У міру того, як виробники впроваджують технології штучного інтелекту, вони реалізують безліч переваг, які виходять за рамки економії коштів або підвищення ефективності. Ці переваги включають швидший час виходу на ринок, персоналізацію продуктів, підвищену безпеку та вищий рівень інновацій. Крім того, впровадження штучного інтелекту допомагає виробникам використовувати величезні обсяги даних, що генеруються сучасними промисловими процесами, використовуючи розширену аналітику для отримання цінної інформації, оптимізації стратегій і постійного вдосконалення[13].

Однією з найважливіших переваг впровадження штучного інтелекту є його здатність забезпечувати прогнозоване обслуговування. За допомогою машин на основі штучного інтелекту виробники можуть виявляти потенційні проблеми, перш ніж вони стануть значними, що дозволяє проводити проактивне технічне обслуговування та скорочувати час простою. Це не тільки економить час і гроші, але і допомагає продовжити термін служби дорогого обладнання.

Ще однією перевагою впровадження штучного інтелекту є можливість підвищити якість продукції. Машини на основі штучного інтелекту можуть виявляти навіть найменші дефекти в продукції, гарантуючи, що на ринок випускається лише високоякісна продукція. Це не тільки допомагає зміцнити репутацію виробника, але й допомагає знизити ризик відкликання продукції, що може бути дорогим і шкідливим для бренду.

Крім того, штучний інтелект може допомогти виробникам оптимізувати управління ланцюжком поставок. Аналізуючи дані з кількох джерел, включаючи постачальників, постачальників логістичних послуг і клієнтів, штучний інтелект може допомогти виробникам виявляти потенційні вузькі місця та неефективність у ланцюжку поставок, забезпечуючи більш ефективне планування та виконання. Це допомагає скоротити час виконання замовлень, покращити своєчасну доставку та знизити витрати.

Одним із найперспективніших застосувань штучного інтелекту у виробництві є його здатність сприяти прогнозованому обслуговуванню. Замість того, щоб чекати, поки обладнання вийде з ладу, системи прогнозного обслуговування на основі штучного інтелекту постійно аналізують і відстежують дані, отримані з машин, щоб виявити закономірності, аномалії та сигнали, які вказують на потенційні проблеми з технічним обслуговуванням. Інтерпретуючи ці дані, штучний інтелект може передбачити, коли обладнання потребуватиме технічного обслуговування, скорочуючи час простою та мінімізуючи вплив непередбачених поломок.

Прогнозоване технічне обслуговування на основі штучного інтелекту значно ефективніше, ніж традиційні підходи до реактивного або планового технічного обслуговування, які часто призводять до непотрібних витрат і збоїв. Використовуючи штучний інтелект, виробники можуть краще розподіляти ресурси, підвищувати загальну ефективність обладнання (OEE) і подовжувати термін служби своїх активів[14].

Візьмемо, наприклад, компанію Siemens, світову компанію в галузі енергетики, Охорони здоров'я та інфраструктура використовує моделі на основі штучного інтелекту для моніторингу та аналізу продуктивності своїх вітрових турбін. Таким чином, компанія може прогнозувати потенційні проблеми та коригувати графіки технічного обслуговування, відповідно, зменшуючи виникнення позапланових простоїв і значно підвищуючи ефективність турбіни.

Подібним чином Harley-Davidson, культовий американський виробник мотоциклів, впровадив систему прогнозного обслуговування на основі штучного інтелекту на своїх заводах, що призвело до значного скорочення часу простою та збільшення загальної ефективності обладнання на 3% протягом першого року.

Контроль якості та інспекція є критично важливими аспектами виробничого процесу, які гарантують, що продукція відповідає суворим стандартам якості та мінімізують ризик дефектів. Системи візуального контролю на основі штучного інтелекту трансформують цю сферу, використовуючи передові алгоритми комп'ютерного зору виявляти дефекти та відхилення від бажаних технічних характеристик продукту з набагато більшою точністю та швидкістю, ніж ручна перевірка.

Ці системи штучного інтелекту можуть перевіряти продукцію на різних етапах виробничого процесу, виявляючи потенційні проблеми, а в деяких випадках навіть вживаючи коригувальних заходів. Це призводить до більшої ефективності, економії коштів і вищого рівня задоволеності клієнтів, одночасно зменшуючи залежність від людей-інспекторів, які можуть бути схильні до помилок і втоми.

Foxconn, найбільший у світі контрактний виробник електроніки, використовує штучний інтелект і машинне навчання для досягнення рівня виявлення дефектів вище 90% на деяких своїх об'єктах, що є помітним покращенням у порівнянні з попередніми методами ручної перевірки [15]. Подібним чином GE Appliances впровадила систему візуального контролю на основі штучного інтелекту, щоб забезпечити якість своїх посудомийних машин, зменшивши дефекти на 50% і досягнувши значного підвищення показників задоволеності клієнтів.

Штучний інтелект має потенціал революціонізувати спосіб управління виробничим процесом, надаючи безцінну інформацію та забезпечуючи краще прийняття рішень за допомогою інтелектуальної автоматизації процесів. Аналізуючи різні точки даних, пов'язаних з виробництвом, у режимі реального часу, штучний інтелект може виявляти неефективність, пропонувати оптимізацію та динамічно адаптувати виробничі операції для зменшення відходів, збереження енергії та підвищення продуктивності.

Цей оптимізований підхід до управління виробництвом, заснований на алгоритмах на основі штучного інтелекту, дозволяє виробникам оптимізувати розподіл робочої сили, використання машин і робочий процес, забезпечуючи вищий обсяг виробництва та підвищену прибутковість.

Tesla інтегрувала штучний інтелект у свої виробничі процеси, щоб підвищити ефективність, скоротити час виробництва та мінімізувати відходи. В результаті компанія повідомила про підвищення ефективності виробництва транспортних засобів на 35% і зниження кількості брухту, пов'язаного з виробництвом, на 75%. Інший приклад, Nestlé, найбільша у світі харчова компанія, звернулася до штучного інтелекту для оптимізації своїх виробничих процесів, що призвело до значної економії енергії та скорочення викидів вуглецю [16].



Рис. 1.1 – Приклад розпізнавання

Незважаючи на прогрес у підвищенні ефективності виробництва, фізична праця все ще призводить до сотні тисяч травм щороку. Мало того, що такі травми призводять до змінюють життя сімей людей, які переживають серйозні медичні ускладнення, але вони також призводять до величезних витрат у твердих і м'яких доларах для компаній.

Завдяки розширеним можливостям графічних процесорів і центральних процесорів компанії тепер можуть розміщувати моделі штучного інтелекту з інтенсивними обчисленнями у віддалених або захищених середовищах. Ці моделі комп'ютерного зору можуть відстежувати динамічні аспекти людей, такі як їхня поза чи хода, або просто стежити за димом, вогнем чи зброєю. Ці тригери використовуються для надсилання сповіщень у режимі реального часу про небезпечні умови праці в режимі реального часу з метою максимального використання безпеки на робочому місці і мінімізувати кількість інцидентів.

Ефективне управління ланцюжком поставок має вирішальне значення для успіху будь-якого виробничого бізнесу. Штучний інтелект все частіше застосовується в управлінні ланцюгами поставок для покращення прогнозування попиту, управління запасами та планування виробництва. Завдяки аналізу величезних обсягів даних з різних джерел штучний інтелект може генерувати точні прогнози попиту та оптимізувати графіки виробництва для мінімізування дефіциту сценаріїв надлишку запасів, що призводить до економії коштів і підвищення задоволеності клієнтів.

На додаток до більш точного прогнозування, штучний інтелект також може покращити управління запасами, забезпечуючи видимість рівня запасів у режимі реального часу. Це гарантує, що виробники краще розуміють свій ланцюжок поставок і можуть приймати обґрунтовані рішення про те, коли повторно замовляти матеріали, зменшуючи як відходи, так і витрати на зберігання запасів.

Штучний інтелект допомагає виробникам досягати безпрецедентного рівня ефективності, точності та продуктивності. Переваги впровадження штучного інтелекту виходять далеко за рамки простої економії коштів або підвищення ефективності, включаючи швидший час виходу на ринок, персоналізацію продуктів, підвищення безпеки та вищий рівень інновацій. Оскільки галузь продовжує впроваджувати цифрову трансформацію, штучний інтелект, безсумнівно, відіграватиме все більш важливу роль у формуванні майбутнього виробництва. Щоб дізнатися більше про AI-рішення Chooch Vision.

1.2.2 Ключові переваги впровадження ШІ

Охорона праці та техніка безпеки зосереджена на захисті благополуччя людей на робочому місці. Незважаючи на те, що існують різні професійні захворювання, пов'язані з робочими місцями, найбільш часто діагностуються захворювання, пов'язані з впливом вугілля, кремнезему, азбесту, алюмінію, бавовни, свинцю, берилію тощо. Незважаючи на зусилля, професійні захворювання та нещасні випадки продовжують становити глобальну проблему для громадського здоров'я, що призводить до значних наслідків для здоров'я та економіки як у країнах із низьким та середнім рівнем доходу, таких як Китай та Індія, так і в країнах із вищим рівнем доходу. Незадовільні умови охорони праці та безпеки праці в усьому світі спричиняють від 60 до 150 мільйонів професійних захворювань, які, за оцінками, становлять приблизно 4%-5% від загального ВВП різних країн. Згідно з «Глобальним тягарем хвороб», 125 000 людей загинули від пневмоконіозу (ХВП), силікозу та азбестозу у працівниківвугільної промисловості. Незважаючи на те, що з 2015 року кількість випадків пневмоконіозу в усьому світі знизилася, значна популяція пацієнтів все ще існує. Рівень смертності серед хворих на пневмоконіоз останнім часом залишається високим, що призвело до понад 21 000 смертей щорічно, починаючи з 2015 року[17].

Крім того, такі галузі, як виробництво, будівництво, транспорт і зберігання, стикаються з високим рівнем нещасних випадків, пов'язаних з роботою. За прогнозами Міжнародної організації праці (МОП), приблизно 2,3 мільйона осіб у всьому світі щорічно втрачають життя через нещасні випадки або хвороби, пов'язані з роботою, тобто понад 6000 смертельних випадків щодня. У глобальному масштабі щороку відбувається близько 340 мільйонів нещасних випадків, пов'язаних з роботою, і 160 мільйонів людей, які страждають від професійних захворювань.

Опублікована література була визначена за допомогою наукових баз даних Embase, PubMed і Google Scholar, включаючи нижчу часову межу 1974 року – року, коли було повідомлено про перше використання цифрового підходу в скринінгу професійних захворювань легень за допомогою рентгенограм грудної клітки – для фіксації хронологічних досягнень у виявленні професійних захворювань і технологічних рішень, що використовуються в промислових установках. Були використані такі пошукові терміни: «Штучний інтелект», «Охорона праці та безпека», «Автоматизація охорони здоров'я та безпеки», «Моніторинг на робочому місці», «Виявлення професійних захворювань», «Профілактика інцидентів», «Носимі технології», «Травматизм на робочому місці» та «Нещасні випадки на виробництві» в різних комбінаціях з подальшим удосконаленням з використанням таких термінів, як «Глибоке навчання», «Комп'ютерний зір» або «Обробка природної мови» для здійснення пошуку літератури у вищезазначених базах даних.

Діагностика професійних захворювань становить значну проблему в клінічних умовах, насамперед через їх тривалі латентні періоди, прикладом чого є такі стани, як пневмоконіоз12[,](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10878366/#ref12)  силікоз, азбестоз, рак легенів та хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), що часто ускладнює загальне лікування. Завдяки нещодавнім досягненням алгоритми штучного інтелекту з функцією глибокого навчання (DL) показали великі перспективи в обробці зображень легенів, роблячи значний вплив на діагностику захворювань на основі звичайних рентгенограм. алгоритмів штучного інтелекту можуть аналізувати зображення легенів, такі як рентгенографія грудної клітки (CXR), комп'ютерна томографія (КТ) або магнітно-резонансна томографія (МРТ), що призводить до точного виявлення та діагностики різних захворювань легенів для покращення прийняття рішень. Вони можуть виявляти та класифікувати аномалії, виявляти вузлики, новоутворення або закономірності, що свідчать про такі захворювання, як мезотеліома, ХОЗЛ та силікоз.

Рентгенографія грудної клітки проводиться для кожної особи, яка оцінюється на пневмоконіоз, що залишається серйозною проблемою для гігієни праці серед працівників, які піддаються впливу пилу. Цей стан створює помітний глобальний тягар, особливо впливаючи на країни з низьким і середнім рівнем доходу. Підтверджувальний діагноз ХВП, силікозу або азбестозу передбачає прийняття складних рішень і є критичним викликом для радіологів. Моделі штучного інтелекту можуть бути дуже ефективними для аналізу даних зображень з високою точністю та точністю. передових методів штучного інтелекту можуть допомогти у збільшенні даних, пом'якшенні шуму зображення та генерації синтетичних даних, які можуть генерувати синтетичні зображення легенів, що нагадують реальні дані пацієнта. Ця інформація може бути цінною для прогнозування майбутнього стану постраждалого працівника для обмеження впливу небезпечного робочого процесу на виробництвах, що піддаються впливу пилу. Завдяки новим можливостям візуалізація відіграє життєво важливу роль в оцінці легеневих захворювань, з глобальним інтересом до комерційних алгоритмів штучного інтелекту, розроблених для візуалізації грудної клітки та визнаних регулюючими органами, щоб зробити їх комерційно доступними в більш ніж 20 країнах.

Ранні спроби на основі алгоритмів можна простежити до Kruger et al.19[,](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10878366/#ref19)  коли прийняття медичних рішень застосовувало гібридні оптико-цифрові методи, що включають оптичне перетворення Фур'є, для скринінгу для діагностики, пов'язаної з підтримкою та компенсацією для постраждалих осіб. Початкові програми, спрямовані на вилучення текстурних ознак, використовували класичні методи, включаючи вейвлети, розподіл щільності, гістограми та матриці спільного входження, для оцінки ентропії, кореляції, однорідності, дисперсії та перекосу для вимірювання форми та розміру непрозоростей на рентгенівських зображеннях. Аналіз текстур допоміг отримати уявлення про склад, структуру та характеристики захворювань тканин. Згодом дослідження були доповнені застосуванням алгоритму багатошарового сприйняття (MLP), заснованого на мультироздільній векторній машині підтримки (SVM), а також просунуті застосуванням згорткових нейронних мереж (CNN) та алгоритмів DL для аналізу зображень CXR [18].

Діагностика професійних захворювань легень, за визначенням МОП, ґрунтується на 2 важливих категоріях оцінки – класифікації кількості та щільності площі, а також розмірі аномалій у області інтересу (ROI) задньо-передньої рентгенографії грудної клітки. Тепер основна проблема, з якою стикається під час аналізу текстури рентгенограм грудної клітки, – це складний «фон», що накладається на нормальні анатомічні структури, що перекриваються, що вимагає, щоб аналіз демонстрував певний ступінь нечутливості. Незважаючи на те, що довгий час робилися спроби корекції фонового тренду для видалення відносно невеликих ROI,23 значний прогрес був продемонстрований Kondo і Kouda у використанні нейронної мережі зворотного поширення (NN) з 3 шарами для виявлення невеликої округлої непрозорості шляхом фільтрації тіні ребер і тіней судин в CXR. Додаток NN розробив відповідне дворівневе зображення ROI. Комплексна оцінка, яка була проведена на основі категоризації розмірів і форм, продемонструвала, що запропонований підхід дає значно більш надійні результати в порівнянні з традиційними методами завдяки використанню техніки «нормалізації руху» для видалення фонового шуму. Алгоритм обчислює щільність чисел і щільність площі округлених непокриттів, які дають результат класифікації шляхом порівняння зі значенням стандартних рентгенівських зображень МОП. Кількісно обґрунтована рішуча класифікація має важливі наслідки для переміщення на іншу роботу та компенсації працівникам за нещасний випадок внаслідок пневмоконіозу.

Також одним з прикладів є розумні черевики оснащені датчиками та алгоритмами штучного інтелекту, які постійно контролюють навколишнє середовище користувача, виявляють небезпечні умови та надають сповіщення або втручання в режимі реального часу для запобігання нещасним випадкам. Незалежно від того, виявляєте ви слизькі поверхні, виявляєте перешкоди чи відстежуєте фактори навколишнього середовища, розумні черевики пропонують проактивний підхід до зниження ризиків. Ця інновація не тільки демонструє благополуччя співробітників, але й відображає потенціал штучного інтелекту для революції стандартів безпеки праці. Інновації в інтелектуальних черевиках охоплюють цілий ряд можливостей, включаючи виявлення падіння, геозонування, функцію нічних ліхтариків, локальне зберігання та аналіз даних, двонаправлену систему зв'язку сповіщень і тактильний зворотний зв'язок. Технічні підприємства розробили інженерний апаратний модуль, який легко інтегрується з альтернативним захисним взуттям, наділяючи його інтелектуальними функціональними можливостями.

Розумні шоломи оснащені набором датчиків, включаючи систему глобального позиціонування (GPS), датчик RFID (радіочастотна ідентифікація), надширокосмуговий (UWB) датчик і монітор кругового огляду (AVM). Ці датчики в сукупності контролюють місцезнаходження працівників, їх діяльність, навколишнє середовище та особисте здоров'я. Кілька датчиків на шоломі мають здатність виявляти якість повітря, служачи важливим інструментом для оповіщення власників за допомогою сигналів тривоги та офіцерів безпеки на місці за допомогою сповіщень про наявність небезпечних газів і забруднюючих речовин. Відомі розумні шоломи, доступні в даний час на ринку: Guardhat Communicator; ВМТ1; XR10 з HoloLens 2; і Smart Helmet від Excellent Web World. Розумний шолом, розроблений компанією Excellent Web World, вирізняється ефективним збором та передачею даних із сайту вакансій разом із особистою інформацією для сприяння безпечному робочому місцю та здоровій робочій силі. Ця особливість виявляється неоціненною для людей, які працюють в обмеженому просторі, тунелях або зонах з газовими лініями.

Трансформаційний вплив робототехніки на основі штучного інтелекту має значний вплив на безпеку на робочому місці та зниження травматизму та смертності за рахунок усунення впливу на працівників небезпечних механізмів та небезпек на робочому місці. Нещодавні дані, засновані на використанні даних про рівень травматизму на рівні установ від Gihleb et al 2022, показали, що збільшення впливу роботів на 1 SD (1,34 робота на 1000 працівників) пов'язане зі зниженням рівня травматизму, пов'язаного з роботою, приблизно на 1,2 травми на 100 штатних працівників (0,15 SD; 95% ДІ, 1,8-0,53).

1.2.3 Практичні приклади використання ШІ у виробничому процесі

Робочі середовища з високим ризиком, такі як поводження з небезпечними матеріалами, робота на висоті та в обмеженому просторі, можуть використовувати ці технологічні досягнення, зумовлені наукою про дані та штучним інтелектом. Тим не менш, робототехніка має свій набір ризиків і небезпек, які також можуть мати негативний вплив на робоче середовище. Штучний інтелект, машинне навчання та DL є ключовими технологіями у сфері робототехніки, і за прогнозами, до 2024 року до 75% підприємств впровадять штучний інтелект у своїх операційних робочих процесах. У зв'язку зі збільшенням використання робототехніки в промисловості, у 2017 році NIOSH заснував Центр досліджень професійної робототехніки (CORR) з метою оцінки можливих переваг і недоліків впровадження роботів у робочу силу.

Впровадження автономних мобільних роботів (AMR) сприяє посиленню заходів безпеки на робочому місці. Автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) та AMR широко використовуються в будівництві та логістиці лікарень, включаючи обладнання для дезінфекції. Щоб зрозуміти можливості AMR, роботи, розроблені данською робототехнічною компанією, можуть обробляти корисне навантаження 1350 кг, ефективно керуючи завданнями в динамічному середовищі та мінімізуючи роль людини в завданнях, які тягнуть за собою ризик зіткнення або травм від фізичного напруження, таких як травми спини та падіння. AMR, наприклад, оснащені мультисенсорними системами безпеки, що включають лазерні сканери, 3D-камери та датчики наближення, які передають дані в розширений алгоритм планування. Ця система спрямовує шлях робота, дозволяючи регулювати або зупинятися, коли це необхідно. Крім того, передові роботи зі штучним інтелектом мають функції, які полегшують безпечне прийняття рішень у разі несправності датчиків, що ще більше зміцнює їх статус як одних із найбезпечніших AMR у всьому світі.

Сучасний ландшафт конструкцій роботів зі штучним інтелектом охоплює різноманітні моделі, створені для різноманітних застосувань. Примітно, що ці роботи включають останні наближення штучного інтелекту, оскільки справжній штучний інтелект все ще перебуває на стадії дослідження. Нижче наведено деякі відомі роботи зі штучним інтелектом у галузі.

1. Digit від Agility Robotics: гуманоїдний двоногий робот, здатний переміщатися по складній місцевості та доставляти посилки. Цифра може підніматися по сходах, ловити себе під час падінь і планувати кроки. Digit може бути розгорнутий у середовищах, де певні завдання є небезпечними для працівників, наприклад, завдання з реагування на надзвичайні ситуації та аварійне відновлення.
2. Atlas і Spot від Boston Dynamics: Ці роботи на основі штучного інтелекту є передовими роботизованими платформами з різноманітними можливостями із застосуванням у пошуково-рятувальних операціях, Atlas і Spot можуть знаходити та надавати допомогу персоналу в небезпечних або важкодоступних районах. Їхні особливості роблять їх придатними для використання для обробки та транспортування небезпечних матеріалів, хімічних агентів або вибухових речовин, зменшуючи ризики для людської робочої сили, такі як пожежі або вибухи на промислових об'єктах.
3. HRP-5P від AIST: розроблений Японським інститутом передових промислових наук і технологій (AIST), HRP-5P чудово справляється з важкими робочими завданнями та будівельними роботами. Його можливості включають автономну установку гіпсокартонних листів на стіни, роботу з великими фанерними панелями, демонстрацію його потенціалу для практичного використання в будівельній галузі та забезпечення зниження небезпеки при важких трудових завданнях.
4. Aquanaut від Houston Mechatronics: Aquanaut служить безпілотним підводним підводним човном, призначеним для тривалих завдань під водою. Він може проходити понад 200 км під водою та маніпулювати об'єктами в небезпечних підводних середовищах. Завдяки бортовим камерам, датчикам і потужним рукам Aquanaut зводить до мінімуму потребу в людській участі. Робот може допомагати в ризикованих місіях з підводних досліджень[19].
5. Трюки від Disney: Disney's Stuntronics – це вдосконалений робот-дублер, який виконує акробатику для фільмів/кінотеатрів. Він використовує датчики та автономний контроль пози для виконання складних маневрів з точністю та повторюваністю. Виробничий травматизм добре обговорюється в дослідженнях, проведених серед каскадерів. Ця технологія спрямована на заміну людських дублерів у ризикованих сценах.

Незважаючи на те, що робототехніка зі штучним інтелектом все ще перебуває на початковій стадії, вона прагне підвищити безпеку на робочому місці, спонукаючи нас до більших технологічних проривів.

Комп'ютерний зір має великі перспективи для підвищення безпеки на робочому місці за допомогою додатків штучного інтелекту. Він забезпечує різні функції, включаючи моніторинг поведінки співробітників, виявлення потенційних ризиків і видачу сповіщень у режимі реального часу. Відмінним прикладом її реалізації є використання тепловізійних камер для виявлення теплового стресу у працівників. Ця технологія дозволяє роботодавцям постійно контролювати температуру тіла своїх працівників і своєчасно пропонувати необхідну підтримку, наприклад, перерви на охолодження або відповідні засоби індивідуального захисту. Крім того, комп'ютерний зір відіграє важливу роль у зусиллях зі спостереження. Камери на основі штучного інтелекту можуть відстежувати пересування співробітників і швидко виявляти потенційні небезпеки, такі як небезпека спотикання або незакріплене обладнання. Крім того, ці камери також можуть виявляти випадки, коли людина потрапляє в заборонену або небезпечну зону, забезпечуючи таким чином більш безпечне робоче середовище.

Поширення штучного інтелекту призвело до зміни парадигми завдяки технологічному прогресу в управлінні даними, комп'ютерному зорі та машинному навчанні. Ця тенденція очевидна у появі кількох інноваційних платформ на основі штучного інтелекту, які задовольняють різноманітні потреби, від маркування та курації даних до виявлення об'єктів та відеоаналізу. Деякі з цих передових платформ включають: Scale AI, Supervisely, V7, Viso, Labelbox, Toloka, Superannotate та OpenCV; останній залишається невід'ємною частиною ландшафту штучного інтелекту, пропонуючи бібліотеку з відкритим вихідним кодом для комп'ютерного зору та машинного навчання.

У сфері DL, що розвивається, виникли різноманітні проблеми та проблеми комп'ютерного зору, включаючи класифікацію, розпізнавання, обробку мови, аналіз відео, виявлення жестів та робототехніку. Однак залишається невизначеним, чи всі проблеми комп'ютерного зору будуть вважатися вирішеними в нинішньому ландшафті досягнень ДН. Поява CNN дійсно змінила всю сферу комп'ютерного зору завдяки останнім розробкам, заснованим на моделях. Ці моделі спростили процес створення складних конфігурацій DL, дозволяючи легко розробляти їх шляхом точного налаштування попередньо натренованих ваг.

Віртуальна реальність (VR) стала цінним інструментом для навчання безпеці, особливо в галузях з високим рівнем ризику, де навчання на реальному досвіді може бути небезпечним. Роботодавці можуть використовувати VR, щоб надати працівникам практичні знання та досвід у ризикованих ситуаціях, допомагаючи їм залишатися в безпеці, і таким чином мінімізувати ризик смертельних випадків і травм на робочому місці, підвищуючи їхню освітню роль у формуванні знань із запобігання ризикам. Ця технологія є економічно ефективною, цілеспрямованою та покращує запобігання нещасним випадкам за рахунок мінімізації помилок. Використання віртуальної реальності в навчанні з безпеки замінює традиційні методи, такі як PowerPoint і відео, пропонуючи більш захоплюючий і запам'ятовуючий досвід навчання галузей, таких як хімічна промисловість, будівництво, гірничодобувна промисловість та оборона, прийняли навчальні програми на основі VR завдяки їх економічній ефективності та зниженню травматизму та жертв на робочому місці.

Приклади застосування VR у різних галузях включають:

* Хімічна обробка: досвід роботи з імерсивним заводом віртуальної реальності допомагає співробітникам вирішувати небезпечні сценарії, готуючи їх до належного реагування.
* Будівництво: Технологія інформаційного моделювання будівель створює VR-симуляції, ознайомлюючи працівників з небезпечними зонами та технікою безпеки.
* Гірнича справа: VR використовується для навчання студентів реагуванню на надзвичайні ситуації в Школі гірничої інженерії Університету Нового Південного Уельсу.
* Військова: Військово-морська інженерна академія використовує VR-технологію від Ethosh для навчання моряків реагуванню на надзвичайні ситуації та стихійні лиха, забезпечуючи дотримання точних та ефективних протоколів.

Навчальні організації з охорони праці, наприклад, AST Arbeitssicherheit & Technik, почали впроваджувати VR-платформи в цифрове ручне навчання безпечному поводженню з землерийними машинами. Компанія «Хенкель», що займається виробництвом хімічних і споживчих товарів, у партнерстві з VRdirect створила навчальний досвід у віртуальній реальності для інформування працівників про ризики для здоров'я та безпеки на робочому місці. Тренінг гейміфікує процес, ставлячи перед співробітниками завдання виявити потенційні ризики в напружених ситуаціях, роблячи його одночасно успішним і приємним. Крім того, різні інші промислові корпорації, такі як Walmart, FedEx і BP, включили навчання з промислової безпеки з використанням VR. Класифікація додатків VR представлена у вигляд.

Впровадження дронів і безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є кроком до виконання широкого спектру завдань без прямого втручання людини. Платформи БПЛА та машинного навчання використовували у своїй роботі численні алгоритми. З цих алгоритмів випадковий ліс виділяється найбільшою часткою використання. Це найбільш часто використовуваний алгоритм через його ефективність в управлінні шумом даних. Другим за поширеністю алгоритмом є векторна машина підтримки, на яку припадає 21% від загального обсягу використання. Слідують за реалізаціями CNN і k-найближчих сусідів, 27,28 з часткою 16% і 11% у всіх використовуваних алгоритмах відповідно.

Для будівельного сектору БПЛА мають потенціал для запобігання травмам, смертельним випадкам, впливу токсичних хімікатів, небезпеці ураження електричним струмом та нещасним випадкам за участю транспортних засобів та обладнання. Як наголошується у звіті про ринок дронів США за 2019 рік, ринок комерційних дронів у Сполучених Штатах значно розширився, і прогнози вказують на потроєння розмірів до 2024 року. Крім того, атрибути дронів, включаючи точне керування, комп'ютерний зір, можливості GPS, геозонування, значну вантажопідйомність та штучний інтелект, позиціонують БПЛА, орієнтовані на будівництво, для ефективного нагляду за протоколами безпеки в комерційних будівельних проектах, тим самим запобігаючи участі людини в небезпечних ситуаціях. БПЛА демонструють здатність швидко переміщатися по складних зонах робочих місць, перевершуючи швидкість людини. Ці БПЛА можуть бути оснащені відеокамерами, датчиками та обладнанням зв'язку для оперативної передачі даних у режимі реального часу, що стосуються будівельних завдань, крім того, вони можуть виконувати завдання, схожі на ті, що виконуються пілотованими транспортними засобами, досягаючи вищої ефективності та зменшених витрат. Примітно, що нещодавні досягнення в конструкції БПЛА, що охоплюють довговічність батареї, GPS, навігаційну майстерність і надійність керування, сприяли створенню економічних і легких повітряних систем. Доступність таких економічно ефективних та зручних у використанні БПЛА призвела до значного сплеску їх використання протягом останнього десятиліття. Зростаюча роль БПЛА в будівельній галузі охоплює різні сфери, включаючи допомогу в плануванні будівельних проектів за допомогою картографування повітряного майданчика, нагляд за робочим процесом, управління логістикою будівельного майданчика та проведення інспекцій для оцінки структурної цілісності та потреб у технічному обслуговуванні. Крім того, БПЛА знайшли застосування в цілому ряді інших сфер в архітектурі, інженерії та будівництві. Вони включають спостереження за дорожнім рухом, моніторинг зсувів, збереження культурної спадщини, та містобудування..

Починаючи з етапу підготовки до будівництва, інспекції на місці мають ключове значення на різних етапах будівельного проекту. Деякі зони можуть бути нестабільними або складними для доступу, що підвищує ризики для інспекторів-людей. Технологія дронів підвищує безпеку інспекцій на об'єктах, дозволяючи проводити дистанційну оцінку без необхідності виїжджати в небезпечні зони. Інспекції дронами можна швидко проводити за межами майданчика, що скорочує витрати, пов'язані з додатковою робочою силою та затримками. Завдяки програмному забезпеченню для 3D-картографування, камерам ближнього та далекого інфрачервоного діапазону, а також лазерним далекомірам, дрони забезпечують точні вимірювання, зменшуючи потребу в повторних перевірках.

Будівельний персонал, який займається роботами на хмарочосах, вежах і мостах, стикається з ризиками, пов'язаними з великою висотою, а доступ до цих місць часто тягне за собою значні витрати. Дрони можуть проводити планові технічні перевірки цих високих конструкцій, зменшуючи потребу в людських інспекторах.

Folio3, провідний новатор технологічних рішень із Каліфорнії, є відомим розробником і постачальником інтелектуальних рішень на основі штучного інтелекту, пропонуючи автоматизовані системи дронів для оптимізації процесів і допомоги бізнесу в різних галузях. Подібним чином, Percepto – це спільна команда, що складається з інженерів апаратного забезпечення, розробників програмного забезпечення, фахівців з машинного зору, ентузіастів у робототехніці та досвідчених професіоналів галузі. Як компанія, Percepto досягає успіху в розробці комплексних рішень, що охоплюють як програмне забезпечення, так і апаратне забезпечення для дронів на основі штучного інтелекту. Його система візуального управління даними AIM знаходить застосування в дронах, роботах і камерах. Це передове програмне забезпечення використовує можливості штучного інтелекту та DL для проведення обстежень об'єктів для таких завдань, як будівельні інспекції, 3D-моделювання та патрулювання безпеки. Завдяки глобальному вотуму довіри з боку регулюючих органів, дрон Percepto в коробці доступний у 3 різних моделях, які довіряють для застосування в гірничодобувних та енергетичних об'єктах. Ці моделі ефективно виявляють витоки газу, стежать за будівельними майданчиками та виконують різні інші функції.

Дрон LEMUR S, розроблений компанією Brinc зі штаб-квартирою в Неваді, демонструє конфігурацію квадрокоптера, оснащений функціями нічного бачення, і пропонує вражаючу тривалість польоту в 31 хвилину. Крім того, він має чудову здатність залишатися в неактивному стані до 10 годин, стабільно записуючи відео та аудіо. Спеціально розроблений для сценаріїв, пов'язаних з підвищеним ризиком, LEMUR S виявляється оптимальним вибором для рятувальників і пошуково-рятувальних команд. Його вбудовані функції мікрофона та запису відео дозволяють вести як розмови, так і вести розвідку.[124](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10878366/#ref124)

Інструменти на основі штучного інтелекту пропонують величезні потенційні вигоди від алгоритмічного аналізу XR для країн, що розвиваються, де доступність спеціалізованих радіологів може бути затримкою. Методи штучного інтелекту виявляються корисними для вирішення проблеми діагностики професійних захворювань легень за даними рентгенограм грудної клітки. Крім того, алгоритми штучного інтелекту мають вирішальне значення для оцінки вимог про компенсацію працівникам, які зазнали впливу пилу в пневмоконіозних установках, пом'якшуючи затримки, спричинені непідтвердженими діагнозами, включаючи такі стани, як силікоз. Деякі з новітніх розробок, такі як TBFE, показали багатообіцяючі результати у виявленні пневмоконіозу на його доклінічних стадіях. Відродження пневмоконіозу в таких країнах, як Сполучені Штати та Австралія, підкреслює необхідність прогресу в галузі штучного інтелекту. Навіть за наявності передових систем охорони здоров'я, суворих протоколів безпеки на робочому місці та механізованих методів видобутку корисних копалин, розроблених для зменшення впливу частинок на працівників, відсутність остаточного лікування пневмоконіозу вимагає глибшої інтеграції рішень штучного інтелекту.

Збираючи та аналізуючи дані про діяльність працівників, продуктивність обладнання та умови навколишнього середовища, інструменти штучного інтелекту надають цінну інформацію, яка дозволяє проактивно керувати ризиками. Цей проактивний підхід дає змогу організаціям швидко реагувати на виникаючі небезпеки, впроваджувати необхідні заходи безпеки та втручатися до того, як станеться нещасний випадок. Ці інструменти створюють цикл зворотного зв'язку на основі даних, що дозволяє постійно вдосконалюватися шляхом виявлення моделей ризиків, аналізу тенденцій і розгортання цільових заходів для запобігання повторенню. Зрештою, інструменти моніторингу та спостереження на робочому місці відіграватимуть центральну роль у сприянні більш безпечному та захищеному робочому середовищу, значно знижуючи частоту виробничого травматизму.

Штучний інтелект пропонує багатообіцяюче майбутнє, де мовне різноманіття та численні фактори ризику ускладнюють вразливість до поганого розуміння ризиків на робочому місці. Технології штучного інтелекту можуть бути використані для розуміння та задоволення потреб різних професійних груп, кращого інформування про політику та допомоги у формулюванні стратегій для покращення середовища охорони здоров'я та безпеки працівників.

**Питання для самоконтролю**

1. Що таке штучний інтелект і як він використовується у виробництві?
2. Які основні переваги впровадження ШІ у виробничих процесах?
3. Як ШІ допомагає у моніторингу та прогнозуванні небезпечних ситуацій?
4. У чому полягає роль Індустрії 4.0 у цифровій трансформації виробництва?
5. Які сучасні технології лежать в основі ШІ (наприклад, машинне навчання, комп’ютерний зір)?
6. Що таке профілактичне обслуговування на основі ШІ?
7. Яким чином ШІ може підвищити якість продукції?
8. Яка роль ШІ в оптимізації ланцюжка поставок?
9. Які ризики та виклики можуть виникати при впровадженні ШІ у виробництві?
10. Як оцінити ефективність використання ШІ на підприємстві?

ТЕМА 1.3 ВИКОРИСТАННЯ ШІ ДЛЯ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

***Мета вивчення теми:*** Сформувати уявлення про сучасні системи штучного інтелекту (ШІ), їхні архітектури, можливості та сфери застосування у медичній візуалізації, зокрема для діагностики та попередження професійних захворювань, таких як пневмоконіоз.

**План**

* + 1. Вступ до систем штучного інтелекту в медицині
		2. Огляд традиційних та сучасних методів штучних нейронних мереж у діагностиці пневмоконіозу
		3. Архітектури згорткових нейронних мереж (CNN)

***Ключові терміни:*** штучний інтелект, нейронна мережа, глибоке навчання, CNN, Vision Transformer, пневмоконіоз, рентгенографія, КТ-сканування, трансферне навчання, класифікація, сегментація, діагностика, AUC, точність, чутливість

1.3.1 Вступ до систем штучного інтелекту в медицині

Методи NN зазнали значної еволюції, на відміну від ручного вилучення функцій, для аналізу текстур і додатково пропонують переваги економії часу. Методи DL зробили революцію в нетекстурному CXR-аналізі, пропонуючи автоматичне виявлення захворювань, сегментацію, локалізацію та інтерпретацію. Ці досягнення значно підвищили точність, ефективність та корисність класифікації та інтерпретації пневмоконіозу в клінічній практиці. Okumura et al. розробили схему виявлення пневмоконіозу на основі аналізу на основі правил плюс штучної нейронної мережі (ANN) [20], використовуючи 3 методи покращення (функція вікна, трансформація верхнього капелюха та аналіз матриці спільного виникнення сірого рівня) для диференціації аномальних патернів. При застосуванні до рентгенограм грудної клітки важкого та низького ступеня злоякісності пневмоконіозу для диференціації між нормальним та аномальним (ROIs) метод досяг значних показників класифікації, досягнувши площ під кривою (AUC) 0,93 ± 0,02 та 0,72 ± 0,03 відповідно, показаних як (середнє значення ± SD). Подальші діагностичні показники для AUC були зареєстровані як для низького, так і для тяжкого пневмоконіозу Okumura et як 0,89 ± 0,09 та 0,84 ± 0,12 відповідно, з використанням 3-етапного ШНМ. Очевидно, алгоритми NN страждають від своєї нездатності ефективно вивчати складні представлення пневмоконіозних рентгенограм і не досягають високого рівня точності. Це може знизити їх ефективність у вирішенні складних завдань і більш широкому застосуванні.

В епоху штучного інтелекту медична візуалізація охопила використання методів ДН. Серед цих методів згорткові нейронні мережі (CNNs) спричинили зміну парадигми в обробці медичних зображень. Класичними CNN є LeNet, AlexNet, GoogLeNet і ResNet. LeNet знаменує собою важливу віху на ранніх етапах розвитку CNN, використовуючи розмір зображення 32 × 32 для цифрової класифікації. А втім, його продуктивність досягла плато через властиві йому обмеження. 2012 рік ознаменувався винятковими досягненнями AlexNet у конкурсі ImageNet що відкрило шлях для застосування CNN у різних інших сферах. У 2014 році була представлена мережева архітектура, відома як GoogLeNet. Після цього, в 2015 році, була представлена модель ResNet, яка являє собою значний прогрес як в глибині мережі, так і в швидкості конвергенції.

У наступні роки дослідники почали адаптувати архітектури CNN до конкретних проблем класифікації CXR. Одним із помітних множників стало впровадження трансферного навчання [21] де попередньо навчені моделі CNN з великомасштабних наборів даних зображень були точно налаштовані для аналізу CXR. Цей підхід вирішив проблему дефіциту мічених медичних даних, оскільки збір медичних зображень із точними анотаціями може зайняти багато часу та коштувати дорого.

Розширені дослідження застосування рентгенографії пневмоконіозу з використанням CNN були проведені, зокрема, кількома дослідниками, включаючи Devnath et al,38 Devnath et al,39 Devnath et al,40 Arzhaeva et al,41 Більшість методів діагностики легень зазвичай використовують попередньо навчену модель CNN від ImageNet. Для конкретного завдання діагностики пневмоконіозу Zheng et al використовували різні моделі CNN, включаючи LeNet, ALexNet і GoogLeNet (Inception-v1 і v2). Оптимізована структура Inception-CF (або GoogLeNet-CF) може досягти точності приблизно 96,88% при збільшенні тренувальних зображень до 1600, в порівнянні з GoogLeNet (94,2%), за якими слідують InceptionV2 (90,70%), AleXNet (87,90%) і LeNet (71,6%). В іншому застосуванні глибоких CNN, з одним із найбільших наборів даних у 33 493 CXR, було виявлено, що точність становить 92% при дуже високій чутливості (99%), що мінімізує ймовірність пропущених діагнозів. Виняткова чутливість моделі рекомендувала її як ідеальний інструмент для скринінгу пневмоконіозу під час оцінки гігієни праці в Китаї, оскільки він вміло виявляє майже всі можливі випадки захворювання. Wang et al. використовували архітектуру Inception-V3 CNN (GoogleNet) для виявлення пневмоконіозу. Цей підхід дав AUC 87,80 (95% ДІ, 0,811-0,946), що вказує на потенційну життєздатність використання методів ДН у скринінгу пневмоконіозу.

Численні дослідження були проведені Devnath та ін., включаючи продуктивність класифікатора CNN з глибоким навчанням перенесення та без нього для вивчення впливу на класифікацію чорної хвороби легень з використанням моделей VGG16, VGG19, InceptionV3, Xception, ResNet50, DenseNet121 і CheXNet. У зв'язку з обмеженням розміру даних (71 задньо-передній (PA) CXR) автори також використовували циклічно-узгоджені змагальні мережі (CycleGAN) і генератор даних зображень Keras для створення додаткових доповнених і синтетичних рентгенограм, включаючи стандартні рентгенограми МОП. Точність варіювалася від 80% до 88% в порядку продуктивності таким чином: InceptionV3 > CheXNet, Xception, ResNet > DenseNet > VGG16 > VGG19, при цьому загальна придатність моделі CheXNet серед всіх 7 моделей DL для невеликих наборів даних. В іншому дослідженні Devnath використовував пару моделей CNN для вилучення багатовимірних ознак із зображень рентгенографії пневмоконіозу. Ці моделі включали в себе попередньо навчену DenseNet і попередньо навчену архітектуру CheXNet. Ці вилучені ознаки потім були введені в звичайний класифікатор машинного навчання (ML), зокрема SVM. Примітно, що гібридний підхід CheXNet досяг надзвичайної точності 92,68% у автоматизованій ідентифікації пневмоконіозу, перевершивши різні альтернативні методи, засновані як на традиційному ML, так і на DL.

1.3.2 Огляд традиційних та сучасних методів штучних нейронних мереж у діагностиці пневмоконіозу

 Після постановки діагнозу пневмоконіоз, як правило, стан пацієнта вже знаходиться на вкрай критичному і складному для лікування етапі. Щоб ефективно впоратися з цим захворюванням, вкрай важливо виявити його на доклінічній стадії з почуттям терміновості. Це призвело б до зменшення його виникнення та зменшення його тяжкості серед осіб, схильних до його ризиків у робочій силі. Дослідження на основі штучного інтелекту для діагностики на доклінічних стадіях нещодавно було проведено Wang et al. з використанням нового підходу 3-ступеневої моделі каскадного навчання. На початковому етапі навчання включало мережу YOLOv2 для виявлення областей легенів на зображеннях цифрової рентгенографії грудної клітки (DR). Згодом 6 різних моделей CNN пройшли навчання для розпізнавання доклінічної фази CWP. Нарешті, на третьому етапі була побудована модель гібридного ансамблевого навчання (EL), яка використовує підхід м'якого голосування для об'єднання результатів 6 моделей CNN. Використано 1447 цифрових рентгенограм буровиків, вугледобувників, підсобних робітників, робітників широкого профілю та інших працівників вугільної промисловості. 6 CNN включали Inception-V3, ShuffleNet, Xception, DenseNet, ResNet101 і MobileNet для навчання авторів. Результати показали, що AUC каскадної моделі становить 93,1% з точністю до 84,7%. Ефективність запропонованої моделі є дуже перспективною та відображає прогрес у ефективному доклінічному скринінгу працівників вугільної промисловості.

1.3.3. Архітектури згорткових нейронних мереж (CNN)

Архітектура Transformer, введена в алгоритми NN, спочатку для додатків обробки природної мови (NLP), також дуже швидко знайшла своє застосування в комп'ютерному зорі з розвитком Vision Transformer (ViT) завдяки своїй конкурентоспроможності в порівнянні зі звичайними CNN за кількома тестами класифікації зображень. Незважаючи на те, що традиційні методи в ML були ефективно застосовані для класифікації відхилень на 2D рентгенівських зображеннях пневмоконіозу, літературні дані не доступні для використання 3D зображень КТ. З точки зору якості даних, КТ грудної клітки відома своєю вищою роздільною здатністю та покращеними діагностичними даними, і стала надійним методом оцінки захворювань легень завдяки своїй чутливості порівняно з рентгенографією рентгенографії. Нещодавно дослідження, проведене Huang et al, у найбільшому центрі аутентифікації професійних захворювань у західному Китаї, повідомило про застосування факторизованого кодера на основі трансформатора (TBFE) для роботи з 3D-КТ-зображеннями пневмоконіозу. Це продемонструвало здатність TBFE обґрунтовано класифікувати тяжкість пневмоконіозу шляхом аналізу інформації про взаємодію внутрішньозрізового та міжзрізового періоду. Серед інших широко використовуваних методів 3D-CNN, включаючи CheXNet, COVID-Net, версії ResNet, ResNext і Seresnext, продуктивність TBFE була значно кращою; Зокрема, точність класифікації на стадії 0 також була порівняно підвищена, що свідчить про те, що запропонований підхід демонструє покращену здатність прогнозувати початкову фазу пневмоконіозу. Опубліковані результати продемонстрували домінування TBFE порівняно з іншими мережами 3D-CNN, досягнувши рівня точності 97,06% та оцінки Формули-1 93,33% з високою точністю та запам'ятовуванням. Виходячи з цих показників ефективності, цей TBFE може допомогти в ранній діагностиці пневмоконіозу на основі зображень КТ.

**Питання для самоконтролю**

1. Що таке штучний інтелект і як він застосовується в медицині?
2. Які основні типи нейронних мереж використовуються для аналізу медичних зображень?
3. У чому полягають переваги використання глибокого навчання у діагностиці пневмоконіозу?
4. Які ключові архітектури CNN застосовуються для задач медичної візуалізації?
5. Що таке трансферне навчання та які його переваги для аналізу CXR?
6. Які метрики ефективності використовуються для оцінки моделей ШІ у діагностиці?
7. У чому сутність Vision Transformer і як він відрізняється від звичайних CNN?
8. Які проблеми виникають при навчанні моделей на малих медичних датасетах і як їх вирішують?
9. Як гібридні моделі підвищують точність автоматизованої діагностики?
10. Які перспективи розвитку систем ШІ для раннього виявлення професійних захворювань?

ТЕМА 1.4 ЗАСТОСОВУВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ НЕЩАСНИМ ВИПАДКАМ

***Мета вивчення теми:*** Сформувати уявлення про сучасні системи штучного інтелекту (ШІ), їхні архітектури, можливості застосування у різних галузях промисловості для запобігання нещасним випадкам.

**План**

1.4.1. Використання штучного інтелекту для запобігання нещасним випадкам

***Ключові терміни:*** штучний інтелект, нейронна мережа, глибоке навчання, точність, безпека, нещасний випадок, екзоскелет.

1.4.1. Використання штучного інтелекту для запобігання нещасним випадкам

Штучний інтелект відіграє вирішальну роль у різних аспектах робочого процесу, революціонізуючи способи виконання та управління завданнями. За допомогою обчислювальних методів, які аналізують і обробляють дані, штучний інтелект дозволяє виконувати конкретні дії, які впливають на динаміку праці. Заслуговують на увагу технології штучного інтелекту охоплюють ML, DL, NLP та експертні системи на основі правил (RBES). Ці технології штучного інтелекту також проникли в охорону праці, полегшуючи вивчення як структурованих, так і неструктурованих даних. Ця технологія знаходить застосування в різних сферах, таких як координація машин і промислових процесів, управління робочою силою (особливо з точки зору людських ресурсів [HR]), оцінка ризиків для клієнтів, аналіз переваг і оцінка безпеки персоналу. Щоб захистити свою робочу силу, роботодавці можуть застосовувати різні стратегії, рекомендовані Національним інститутом безпеки та гігієни праці США (NIOSH). Ці заходи включають надання інформації та навчання щодо ризиків на роботі, впровадження комплексних програм безпеки та постачання засобів індивідуального захисту.

Незважаючи на ці зусилля, людська помилка залишається значною причиною нещасних випадків на виробництві. Саме тут штучний інтелект може відігравати життєво важливу роль. Завдяки своїй здатності швидко обробляти та аналізувати дані, штучний інтелект може ефективно виявляти потенційні ризики та небезпеки, які можуть залишитися непоміченими людьми.

Використання екзоскелетів, носимих роботизованих костюмів, призначених для покращення динаміки кінцівок і суглобів, стало засобом підвищення продуктивності та захисту добробуту працівників. Численні дослідження свідчать про зростання використання різних структур штучних нейронних мереж (ШНМ) у сучасних технологіях, пов'язаних з екзоскелетом.

Крім того, традиційні методи управління поєднуються з інтелектуальними або адаптивними оптимізаторами для розробки стійких або гібридних систем. Протягом всієї історії біомехатроніки та інтелектуальних систем ШНМ були основоположним елементом. Ці мережі сприяли зростанню інтелектуальних медичних допоміжних пристроїв, таких як протези, керовані мозком-машинним інтерфейсом, і вдосконалені роботизовані екзоскелети, призначені для реабілітаційних завдань. Екзоскелети полегшують біометричний аналіз і реабілітацію після травм, а також вони можуть зменшити тиск на хребет, що призводить до поліпшення фізичного здоров'я працівників. Два комерційно доступні екзоскелети Germanic Bionics, Cray X і нещодавно випущений Apogee, призначені для носіння як рюкзака. Вони приводяться в дію електродвигунами і відчувають, коли користувач рухається, забезпечуючи до 30 кг додаткового зусилля на спину, корпус і ноги, коли і де вам це потрібно. Вони забезпечують додаткову підтримку нижньої частини спини, частини тіла, яка зазвичай отримує найбільше навантаження від підняття важких предметів. Крім того, в останні роки було розроблено кілька екзоскелетів з електроприводом, таких як Indego, Exo H3, ReWalk, HAL, і Ekso GT а також розумні ходунки, такі як JARoW,69 i-Walker,70 і роботизовані ходунки FriWalk,71 для допомоги користувачам та/або реабілітації в клініках.

Професійні екзоскелети стратегічно розроблені таким чином, щоб зменшити ризик травм спини та плечей. Їх метою є надання підтримки працівникам і підвищення загальної безпеки на робочому місці, особливо в ситуаціях, коли звичайні ергономічні заходи неможливі. Такі відомі корпорації, як Toyota, Ford і Boeing, вже майже десять років інтегрують технологію екзоскелетів у конкретні команди своєї робочої сили. За цей період ці компанії стали свідками помітного зниження травматизму на 83% у групах, які використовували екзоскелети. працівники, які використовували екзоскелети, повідомили про мінімальний дискомфорт, зниження травматизму та нижчі витрати на компенсацію працівникам. Дослідження показали, що професійні екзоскелети та експозиції можуть полегшити м'язове напруження та втому під час фізичних завдань, застосовних до низки галузей, наприклад, логістики, будівництва, виробництва, військової справи та охорони здоров'я.

Беручи до уваги безпеку працівників і частоту нещасних випадків на робочому місці, стає необхідним модернізувати традиційні інструменти та процедури на робочому місці, щоб вони відповідали новому технологічному ландшафту. За останні кілька років дослідження також досліджували використання штучного інтелекту у виробничому секторі.

Ця інтеграція не тільки взаємопов'язує промисловість, але й максимізує безпеку та захищеність працівників. З появою інтелектуальних ЗІЗ та носимих технологій стає можливим збирати дані як про робочу силу, так і про навколишнє середовище. Цей підхід, заснований на даних, має потенціал для скорочення частоти нещасних випадків і захворювань, пов'язаних з роботою, тим самим сприяючи помітному поліпшенню загальних умов на робочому місці.

Прогрес у галузі інтелектуальних ЗІЗ дозволяє відстежувати основні показники здоров'я та оцінювати промислове середовище. Існує кілька стратегій для включення носимих пристроїв у робочі умови, що дозволяє вивчити, як мережі взаємопов'язаних пристроїв можуть сприяти безпеці людей. Ці рішення використовують низку методів штучного інтелекту, включаючи NN, нечітку логіку, баєсові мережі, дерева рішень та інші методи гібридного висновування. Як правило, звичайні системи безпеки на робочих місцях пристосовані до конкретних вимог окремих компаній і в першу чергу реагують на вимірювані подразники, за умови, що ці стимули перевищують мінімальний поріг (реактивний підхід «дія-реакція»).

Цей підхід пропонує обмежену адаптивність або гнучкість при зіткненні з новими ситуаціями. На противагу цьому, системи штучного інтелекту з механізмами навчання впроваджують інший підхід. Ці системи покладаються на набір правил у поєднанні зі знаннями, отриманими під час вирішення відомих проблем, щоб передбачити результати незвіданих сценаріїв. Використовуючи такі технології, як NNs, систем міркувань на основі випадків (CBR), DL, або гібридні нейросимволічні алгоритми, такі системи можуть оцінювати, чи становить дана ситуація ризик, виходячи з певних контекстуальних умов.

**Питання для самоконтролю**

1. Які функції виконує штучний інтелект для підвищення безпеки на робочому місці?
2. Які технології штучного інтелекту застосовуються для аналізу даних в охороні праці?
3. Які заходи рекомендуються для захисту працівників від ризиків на робочому місці?
4. Як здатність штучного інтелекту обробляти дані сприяє виявленню небезпек?
5. Яке призначення екзоскелетів і як вони впливають на фізичне здоров’я працівників?
6. Які комерційно доступні екзоскелети використовуються для підтримки працівників?
7. Які компанії впровадили екзоскелети у свою діяльність і які результати це принесло?
8. Як інтеграція штучного інтелекту у виробництво впливає на безпеку працівників?

ЧАСТИНА 2 ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ І ТЕХНОЛОГІЇ В ОБЛАСТІ ЗАХИСТУ ВІД ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

ТЕМА 2.1 ВИЗНАЧЕННЯ ТА СУТНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ. ОСНОВНІ ТИПИ ЗАБРУДНЕНЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

***Мета вивчення теми:*** формування цілісного уявлення про забруднення довкілля, його види, джерела походження та наслідки для екосистем і людини, а також ознайомлення з основними забруднювачами та їх класифікацією. Ознайомлення з характером і масштабами антропогенного впливу на довкілля, розкритті першопричин сучасних екологічних проблем, а також усвідомленні особистої та колективної відповідальності за збереження природних ресурсів.

***План***

* 1. .1 Визначення та суть забруднення довкілля
		1. Основні типи забруднень за середовищем
		2. Наслідки забруднення для живих організмів та екосистем
		3. Визначення та сутність антропогенного впливу
		4. Основні джерела негативного впливу людини
		5. Поняття та критерії якості природного середовища

***Ключові терміни:*** забруднення, забруднювачі, довкілля, атмосфера, гідросфера, літосфера, термічне забруднення, екосистема, антропогенне забруднення, природне забруднення, антропогенний вплив, екологічні проблеми, промисловість, транспорт, сільське господарство, урбанізація, біосфера, зміна клімату, біорізноманіття, природне середовище, екосистема, моніторинг, забруднення, атмосферне повітря, екологічна стійкість, показники якості, токсичні речовини, інвазивні види.

2.1.1 Визначення та суть забруднення довкілля

Забруднення довкілля є однією з ключових проблем сучасності, що впливає на екосистеми, здоров’я людини та клімат планети. Воно виникає внаслідок потрапляння у природне середовище шкідливих речовин, енергії або інших компонентів, які порушують природний баланс. У цьому розділі детально розглядаються основні типи забруднень, їх джерела, класифікація забруднювачів та наслідки для навколишнього середовища[22].

Забруднення довкілля – це процес введення в природне середовище (атмосферу, гідросферу, літосферу) речовин, енергії або фізичних явищ (шум, вібрація, електромагнітне випромінювання), які змінюють його якісні характеристики та завдають шкоди живим організмам або екосистемам. Забруднення може бути природним (наприклад, вулканічні викиди) або антропогенним (спричиненим діяльністю людини).

Забруднення довкілля класифікують за різними ознаками, включаючи середовище, джерела походження та тип забруднювачів.

Забруднення навколишнього середовища може відбуватися по-різному. Атмосферне забруднення – це коли різні гази, аерозолі та пил потрапляють у повітря. Гідросферне забруднення виникає, коли хімічні речовини, нафта або відходи опиняються у водоймах, таких як річки, озера чи океани. Літосферне забруднення означає присутність пестицидів, важких металів чи промислових відходів у ґрунтах. Термічне забруднення – це підвищення температури природних середовищ через скидання гарячої води або теплових викидів, а шумове забруднення виникає через роботу транспорту й промислових об’єктів. Електромагнітне забруднення пов’язане з дією електромагнітних полів, які утворюються лініями електропередач або радіостанціями. Джерела забруднення бувають природними, наприклад виверження вулканів, пилові бурі або лісові пожежі, а також антропогенними, тобто такими, що виникають внаслідок діяльності людини – промисловості, транспорту чи сільського господарства. Забруднювачі можуть бути хімічними (важкі метали, пестициди, органічні сполуки), фізичними (шум, вібрації, теплові викиди, радіація) або біологічними (патогенні мікроорганізми чи інвазивні види у довкіллі).

Забруднювачі – це речовини або фактори, які викликають негативні зміни в природному середовищі. Вони поділяються на первинні (безпосередньо потрапляють у середовище) та вторинні (утворюються внаслідок хімічних реакцій).

Забруднення довкілля – одна з найсерйозніших проблем сучасності, що виникла у зв’язку зі стрімким розвитком промисловості, транспорту, сільського господарства та зростанням людської активності. Воно проявляється у внесенні до природного середовища сторонніх речовин, енергії або фізичних факторів, які чинять негативний вплив на екосистеми, здоров’я людей та природні процеси. Забруднювачі здатні порушувати рівновагу екосистем, спричиняти деградацію середовища, змінювати склад біоценозу.

Забруднення довкілля може бути атмосферним, коли у повітря потрапляють шкідливі гази, аерозолі, пил від промислових підприємств, транспорту чи енергетики. Гідросферне забруднення пов’язане зі стічними водами, нафтою, хімічними речовинами, які потрапляють у водойми. Літосферне забруднення виникає через накопичення у ґрунтах токсичних речовин – пестицидів, важких металів, добрив, сміття. Термічне забруднення полягає у підвищенні температури середовища внаслідок скиду гарячої води або теплових відходів промислових об’єктів. Шумове забруднення – це надмірний шум від транспорту, виробництва та будівництва, що впливає на живі організми. Електромагнітне забруднення виникає через дію електромагнітних полів від ліній електропередач, радіостанцій та засобів зв’язку[23].

Забруднення класифікують за джерелами походження. Природне забруднення спричиняється виверженнями вулканів, пиловими бурями, лісовими пожежами, повенями та іншими природними явищами. Антропогенне забруднення є результатом людської діяльності, зокрема промисловості, сільського господарства, транспорту, енергетики, побутових відходів.

За типом забруднювачів виділяють хімічне, фізичне та біологічне забруднення. Хімічне забруднення – це потрапляння у середовище токсичних речовин: важких металів, пестицидів, органічних сполук, оксидів вуглецю (CO, CO₂), сірки (SO₂), а також нафтопродуктів і добрив. Основними джерелами таких забруднювачів є промислові викиди, транспорт, спалювання палива, гірничодобувна промисловість та металургія. Фізичне забруднення охоплює шум, вібрацію, теплові викиди, радіацію, електромагнітні випромінювання. Біологічне забруднення полягає у потраплянні в середовище патогенних мікроорганізмів, вірусів, бактерій, а також інвазивних видів, які можуть порушити природний баланс.

2.1.2 Основні типи забруднень за середовищем

Основні забруднювачі довкілля поділяються на первинні, що потрапляють у середовище безпосередньо, і вторинні, які утворюються внаслідок хімічних реакцій. Наприклад, оксиди вуглецю, сірки, свинець, ртуть та кадмій є типовими первинними забруднювачами, а озон у смозі утворюється як вторинний забруднювач.

Наслідки забруднення для живих організмів та екосистем можуть бути катастрофічними. Вони включають порушення здоров’я людей, виникнення хронічних захворювань, алергій, зниження імунітету та навіть розвиток онкологічних процесів. Забруднення довкілля призводить до загибелі флори і фауни, зменшення біорізноманіття, порушення функціонування екосистем, втрати здатності природного середовища до самовідновлення. Глобальні наслідки забруднення – зміна клімату, потоншення озонового шару, закислення води і ґрунтів, зникнення видів та зміщення їхніх ареалів.

Для боротьби з забрудненням необхідне впровадження екологічно чистих технологій, заміна шкідливих речовин на безпечніші аналоги, створення ефективних систем очищення викидів та скидів, законодавче регулювання і екологічний моніторинг. Не менш важливими є освітні й просвітницькі кампанії серед населення, розвиток вторинної переробки відходів, зменшення споживання та перехід до циркулярної економіки. Вирішення проблеми забруднення довкілля вимагає комплексного підходу, колективної відповідальності і активної участі як окремих людей, так і всього суспільства[24].

Таблиця 2.1 – Основні типи забруднювачів та їх джерела

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  Тип забруднювача | Приклади |  Основні джерела |
| Хімічні | Оксиди вуглецю (CO, CO₂), сірки (SO₂) | Промислові викиди, транспорт, спалювання палива |
| Важкі метали | Свинець, ртуть, кадмій | Гірничодобувна промисловість, металургія |
| Органічні сполуки | Пестициди, нафта, пластмаси | Сільське господарство, нафтохімічна промисловість |
| Біологічні | Бактерії, віруси, грибки | Каналізаційні стоки, медичні відходи |
| Фізичні | Шум, теплова енергія, радіація | Транспорт, електростанції, промислові об’єкти |

Забруднення довкілля – це складний процес, що охоплює різноманітні типи речовин і джерел, які потрапляють у природу й змінюють її баланс, впливаючи на екосистеми, здоров’я людей і економіку регіонів. Загалом усі забруднювачі можна поділити на первинні або вторинні. Первинні забруднювачі – це ті, що потрапляють у навколишнє середовище безпосередньо з джерела. Наприклад, сірчистий газ (SO₂) викидається заводами під час виробничого процесу. Вторинні забруднювачі утворюються вже після хімічних реакцій первинних речовин у повітрі, воді чи ґрунті – одним із найвідоміших прикладів є озон, який виникає в міському смогові під впливом сонячного світла.

Джерела забруднення бувають як природні, так і антропогенні, тобто створені діяльністю людини. Природні джерела охоплюють вулканічні викиди, які насичують атмосферу сірчистим газом, попелом і різними мінеральними речовинами. Лісові пожежі виділяють в атмосферу великі об’єми вуглекислого газу, чадного газу та сажі, а пилові бурі розносять мінеральний пил на великі відстані. Природні забруднення здебільшого мають локальний характер, проте їх вплив може бути відчутний у сусідніх регіонах чи країнах[25].

Антропогенні джерела забруднення набагато різноманітніші. Промисловість є одним із головних забруднювачів, адже викидає в навколишнє середовище токсичні хімічні речовини, важкі метали, органічні й неорганічні відходи. Транспорт теж відіграє значну роль у забрудненні повітря: автомобілі, літаки, потяги та кораблі виділяють великі об’єми чадного газу, оксидів азоту, дрібних твердих частинок. Сільське господарство, особливо інтенсивне, використовує величезну кількість добрив і пестицидів, які потрапляють у ґрунти та водойми, а тваринництво виділяє метан – потужний парниковий газ. Побутові відходи, такі як пластик, органічні рештки, мийні засоби та хімікати, накопичуються на сміттєзвалищах або потрапляють у воду й повітря через неправильну утилізацію[26].

Наслідки забруднення для довкілля надзвичайно численні й багатогранні. Порушення природних циклів і хімічного складу атмосфери, гідросфери та літосфери призводить до зміни клімату. Викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ (CO₂) і метан (CH₄), посилюють ефект глобального потепління, що спричиняє екстремальні погодні явища: посухи, повені, урагани. Втрата біорізноманіття – ще одна серйозна проблема. Забруднення водойм і ґрунтів руйнує середовища існування багатьох видів рослин і тварин, призводить до їхньої загибелі або міграції, порушує харчові ланцюги, зменшує кількість корисних видів, знижує стійкість екосистем до стресових факторів.

Окремої уваги заслуговують кислотні дощі, які виникають унаслідок викидів сірчистого газу та оксидів азоту в атмосферу[27]. Ці сполуки реагують із водяною парою, утворюючи кислоти, які випадають із дощем на землю. Кислотні дощі закислюють ґрунти, руйнують структуру ґрунтового покриву, унеможливлюють ріст багатьох рослин, забруднюють водойми, знищують рибу й інші водні організми, а також пошкоджують будівлі й історичні пам’ятки.

Забруднення має й значний вплив на здоров’я людини. Дрібні тверді частинки (PM2.5 та PM10), що утворюються переважно внаслідок роботи транспорту й промисловості, проникають у легені, викликають хронічні захворювання дихальних шляхів, алергії, астму, бронхіт, погіршують загальний стан організму. Важкі метали, такі як свинець, ртуть, кадмій, арсен, потрапляють у харчовий ланцюг через воду, ґрунт і рослини, накопичуються в органах і тканинах людини, спричиняють отруєння, порушення роботи нервової, серцево-судинної та репродуктивної систем. Хімічні сполуки, які використовують у побуті, можуть викликати шкірні захворювання, алергічні реакції, впливати на ендокринну систему.

2.1.3 Наслідки забруднення для живих організмів та екосистем

Особливо небезпечними є біологічні забруднювачі, тобто бактерії, віруси, грибки, які потрапляють у довкілля разом із каналізаційними стоками, медичними відходами чи забрудненими водами. Вони спричиняють епідемії, поширення інфекційних хвороб, знижують якість питної води, створюють ризики для життя людей, особливо у густонаселених регіонах.

Економічні наслідки забруднення проявляються через зниження продуктивності сільського господарства, адже деградація ґрунтів, забруднення води й повітря позбавляє рослини необхідних поживних речовин, зменшує врожайність та якість продукції. Держави й міста змушені витрачати значні кошти на очищення водних ресурсів, фільтрацію повітря, рекультивацію земель. Зміна клімату [28] призводить до природних катастроф, які спричиняють матеріальні збитки, втрату майна, інфраструктури, робочих місць і навіть людських життів.

Забруднення довкілля – це глобальна проблема, яка потребує комплексного підходу, міжнародної співпраці й свідомої участі кожного громадянина.

Зменшення негативного впливу можливе через запровадження сучасних екологічних технологій, суворіші закони, перехід на альтернативні джерела енергії, ефективну утилізацію відходів та підвищення екологічної свідомості суспільства. Лише об’єднані зусилля дають змогу захистити природу для майбутніх поколінь і забезпечити гармонійний розвиток людства у злагоді з навколишнім світом.

2.1.4 Визначення та сутність антропогенного впливу

Антропогенний вплив на довкілля – це сукупність дій людини, які прямо або опосередковано змінюють природне середовище: атмосферу, води, ґрунти, живу природу. Він є основною причиною сучасних екологічних проблем – зміни клімату, втрати біорізноманіття, виснаження природних ресурсів. Аналіз основних джерел і наслідків цього впливу, а також прикладів зменшення шкоди, допоможе краще зрозуміти відповідальність суспільства та кожної людини за майбутнє планети.

Антропогенний вплив – це всі зміни в довкіллі, що виникають внаслідок діяльності людини: промисловості, транспорту, сільського господарства, урбанізації чи повсякденного побуту. Вплив може бути локальним, наприклад, забруднення річки неподалік підприємства, і глобальним – як-от потепління клімату, спричинене викидами парникових газів.

2.1.5 Основні джерела негативного впливу людини

Головними джерелами негативного впливу є промисловість, транспорт, сільське господарство, міське забудовування та енергетика. Промислові підприємства здійснюють викиди отруйних речовин у повітря та воду, створюють тверді й токсичні відходи. Транспорт спричиняє атмосферне і шумове забруднення, а також забруднення вод нафтою й паливом. Сільське господарство дає викиди метану, забруднює землю й водойми пестицидами та добривами, призводить до деградації земель. Урбанізація знищує природні екосистеми, збільшує кількість побутових відходів, змінює баланс води. Енергетика, особливо використання викопного палива, є джерелом парникових газів, теплового та, у разі атомних електростанцій, радіоактивного забруднення.

Антропогенний вплив можна поділити за характером (прямий і непрямий), масштабом (локальний, регіональний, глобальний), і тривалістю (короткостроковий, довгостроковий). Його наслідки проявляються у зміні клімату, втраті біорізноманіття, деградації ґрунтів, евтрофікації водойм. Це також призводить до погіршення здоров’я населення, збільшення міграції через зміну клімату, конфліктів за ресурси та економічних втрат у сільському господарстві, на ліквідацію наслідків катастроф, на зменшення продуктивності рибного промислу[29].

Значний вплив мають і такі фактори, як викид у біосферу активних і інертних речовин, пряме нагрівання атмосфери, руйнування поверхні суші, фізична та біологічна дія, знищення відновних та невідновних природних ресурсів, і зміна природних потоків речовин через транспорт. Усі ці явища спричиняють зміну властивостей атмосфери, вод, ґрунтів, руйнування екосистем, порушення біологічної рівноваги, підвищення захворюваності людей, деградацію ландшафтів та виснаження ресурсів.

Для мінімізації негативних наслідків використовують сучасні технології, енергоефективні рішення, відновлювану енергетику, очисні споруди, законодавчі обмеження, міжнародні екологічні угоди, податки на забруднення, субсидії на екологічні інновації, екологічну освіту і популяризацію сталого способу життя. Вдалими прикладами є "Європейський зелений курс", програми рекультивації у Німеччині, перехід Данії на відновлювану енергетику.

Загалом, антропогенний вплив – це різноманіття змін, які людина вносить у природу, і саме від нашої відповідальності залежить, чи зможемо ми зберегти екологічну рівновагу й дати надію наступним поколінням[30].

2.1.6 Поняття та критерії якості природного середовища

Якість природного середовища – це складне поняття, що відображає реальний стан екосистем і визначає умови життя для людей та біоти. Вона охоплює сукупність фізичних, хімічних і біологічних характеристик усіх компонентів довкілля – атмосфери, гідросфери, літосфери й біосфери, – які разом забезпечують життєздатність і сталість природи. Адекватна оцінка якості потребує розуміння не лише відповідності природних параметрів нормативам і стандартам, але й здатності екосистем до саморегуляції, збереження біорізноманіття й підтримання сталого обміну речовин та енергії.

Важливо враховувати, що атмосфера визначає якість повітря, ступінь забрудненості його шкідливими речовинами, рівень пилу, аерозолів, важких металів та інших токсичних компонентів. Водночас гідросфера впливає на якість поверхневих і підземних вод, їхній хімічний склад, наявність нітратів, фосфатів, важких металів та органічних забруднень, а також кислотно-лужний баланс. Літосфера визначає родючість ґрунтів, рівень їхнього забруднення важкими металами, залишками пестицидів, а також вмістом гумусу. Біосфера відображає стан біорізноманіття, здоров'я популяцій і поширення інвазивних видів, що може бути індикатором порушень екологічної рівноваги.

На якість природного середовища мають вплив як природні, так і антропогенні чинники. Серед природних слід виділити вулканічну діяльність, ерозію ґрунтів і природні зміни клімату. Однак найбільше негативних змін спричиняє діяльність людини: промислові та транспортні викиди, використання пестицидів і добрив у сільському господарстві, урбанізація, накопичення відходів. Усе це сприяє забрудненню навколишнього середовища, деградації ландшафтів і зменшенню ресурсного потенціалу природи[31].

Для оцінки та моніторингу якості середовища застосовують фізичні, хімічні, біологічні й геоінформаційні методи. Вимірюють рівень забруднювачів у повітрі, воді, ґрунтах, визначають фізичні й хімічні параметри, використовують біоіндикацію та аналізують просторові зміни за допомогою сучасних інформаційних технологій. Особливо важливим є встановлення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у різних середовищах, що дає змогу визначати реальні ризики для здоров’я людей і стану біоти.

Погіршення якості природного середовища призводить до деградації екосистем, втрати видового різноманіття, евтрофікації водойм, кислотних дощів та інших небезпечних явищ. Це тягне за собою не лише екологічні, а й соціальні та економічні наслідки: зростання захворюваності, зниження якості життя, зменшення продуктивності сільського господарства, збільшення витрат на рекультивацію територій і очищення ресурсів, а також втрату привабливості регіонів для туризму[32].

Для збереження і підвищення якості природного середовища необхідні комплексні заходи. Йдеться про застосування сучасних технологій очищення викидів і стоків, розвиток систем переробки відходів, перехід на відновлювані джерела енергії, впровадження екологічних стандартів і регулярний моніторинг стану довкілля. Не менш важливими є правові й освітні ініціативи: посилення контролю за дотриманням екологічних норм, просвіта населення та підтримка громадських проєктів із озеленення, сортування сміття, очищення водойм і відновлення природних територій.

Досвід багатьох країн свідчить, що лише системний підхід може забезпечити відновлення екосистем і стабільність природного середовища. Якість природного середовища стає тією базою, на якій будується добробут суспільства, здоров’я людей і сталий розвиток усього людства.

**Питання для самоконтролю**

1. Що таке забруднення довкілля?
2. Які існують основні типи забруднення за середовищем?
3. У чому полягає відмінність між природним та антропогенним забрудненням?
4. Які джерела забруднення атмосфери?
5. Чим характеризується гідросферне забруднення?
6. Що таке антропогенний вплив на довкілля?
7. Які основні джерела антропогенного впливу існують?
8. Які приклади локального та глобального антропогенного впливу ви можете навести?
9. Що таке якість природного середовища?
10. Які основні компоненти природного середовища ви знаєте?
11. Які характеристики враховують при оцінці якості атмосфери?
12. Що впливає на родючість ґрунтів у літосфері?
13. Як визначається стан біорізноманіття?
14. Які методи моніторингу природного середовища існують?
15. Назвіть основні фактори погіршення якості природного середовища.

ТЕМА 2.2 ТЕХНОЛОГІЇ ВЛОВЛЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ЧАСТОК У ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОВИХ ВИКИДАХ

***Мета вивчення теми:*** надання всебічного огляду сучасних технологій вловлення зважених часток у промислових газових викидах, з акцентом на їх принципи функціонування, області застосування, переваги та недоліки; формування розуміння необхідності таких технологій для зменшення екологічного впливу промисловості, забезпечення дотримання нормативів та підвищення ефективності виробничих процесів

***План***

2.2.1. Проблема зважених часток у промислових викидах

2.2.2. Класифікація зважених часток

2.2.3. Основні принципи вловлення зважених часток

2.2.4. Порівняння технологій та критерії вибору

***Ключові терміни:*** Зважені частки, промислові газові викиди, PM10, PM2.5, циклонні сепаратори, електростатичні преципітатори, тканинні фільтри, мокрі скрубери, ефективність вловлення, центрифугальна сила, електричне поле, фільтраційний шар, інерційне осадження, екологічні нормативи.

2.2.1. Проблеми зважених часток у промислових викидах

Промислові газові викиди часто містять зважені частки, які є сумішшю твердих і рідких частинок, що утворюються в результаті процесів спалення, механічної обробки матеріалів чи хімічних реакцій. Ці частки, відомі як частки забруднювачів (particulate matter, PM), становлять значну загрозу для навколишнього середовища та здоров'я людини, спричиняючи респіраторні захворювання, серцево-судинні проблеми та забруднення екосистем. За даними досліджень, промислові джерела, такі як електростанції, металургійні заводи та хімічні підприємства, є основними емітерами PM, що вимагає впровадження ефективних технологій вловлення для відповідності екологічним стандартам, таким як норми Європейського Союзу чи EPA США. Вловлення цих часток не лише зменшує викиди, але й сприяє повторному використанню матеріалів, підвищуючи економічну ефективність виробництва[33].

2.2.2. Класифікація зважених часток

Зважені частки класифікуються за розміром, складом та походженням. Основні категорії включають PM10 (частки діаметром до 10 мкм, які осідають у верхніх дихальних шляхах) та PM2.5 (частки до 2.5 мкм, що проникають у легені та кровотік). За складом частки можуть бути органічними (наприклад, сажа з процесів спалення) або неорганічними (метали, пил, сульфати). Первинні частки утворюються безпосередньо в процесах, тоді як вторинні – через атмосферні реакції. Розуміння класифікації є ключовим для вибору технології, оскільки ефективність вловлення залежить від розміру та властивостей часток, таких як щільність чи електропровідність.

2.2.3. Основні принципи вловлення зважених часток

Вловлення базується на фізичних принципах: інерційному осадженні (використання маси часток для відокремлення), дифузії (для дрібних часток), електростатичному притяганні (зарядження та осадження) та фільтрації (проходження газу через пористий матеріал). Ці принципи комбінуються в різних пристроях для досягнення ефективності понад 99% для певних розмірів часток. Вибір принципу залежить від об'єму газового потоку, температури, вологості та типу промисловості.

*Циклонні сепаратори*

Циклонні сепаратори використовують центрифугальну силу для відокремлення часток від газового потоку. Забруднений газ входить у циліндричну камеру, де створюється вихор, що змушує важчі частки осідати на стінках і падати в збірник, тоді як чистий газ виходить зверху. Застосовуються як попередні очищувачі в енергетиці та гірничій промисловості для часток понад 10 мкм. Переваги включають простоту конструкції, низькі витрати на обслуговування та відсутність рухомих частин. Недоліки: низька ефективність для субмікронних часток (менше 50% для PM2.5) та обмежена адаптивність до змінних потоків[34].

*Електростатичні осаджувачі*

Електростатичні преципітатори (ESP) заряджають частки в електричному полі (напругою 20-100 кВ), після чого вони притягуються до заземлених пластин і видаляються. Існують сухі та мокрі варіанти. Застосовуються в електростанціях, цементній та металургійній промисловості для вловлення дрібних часток (ефективність до 99.9% для PM2.5). Переваги: низький опір потоку, мінімальні експлуатаційні витрати та висока ефективність для сухих газів. Недоліки: чутливість до опору часток (резистентність 10^8-10^11 Ом·см), ризик вибуху пилу та висока початкова вартість.

*Тканинні фільтри (багхаузи)*

Тканинні фільтри, або багхаузи, пропускають газ через тканинні мішки, де частки затримуються на поверхні, утворюючи фільтраційний шар (пирог). Очищення відбувається імпульсами стисненого повітря або струшуванням. Застосовуються в деревообробці, харчовій та фармацевтичній промисловості для часток будь-якого розміру (ефективність понад 99%). Переваги: висока ефективність, можливість вловлення небезпечних забруднювачів та адаптивність. Недоліки: тиск падіння (100-500 мбар), енергоспоживання (0.2-2 кВт·год/1000 м³) та непридатність для вологих газів через конденсацію.

*Мокрі скрубери*

Мокрі скрубери контактують газ з рідиною (водою або розчинами), де частки захоплюються краплями та осідають. Типи включають вежі з розпиленням, Вентури та пакетовані. Застосовуються в хімічній промисловості та спалюванні відходів для часток та газів (ефективність середня/висока). Переваги: обробка вибухонебезпечних пилів, охолодження газу та низька вартість. Недоліки: корозія, утворення стічних вод та низька ефективність для часток 0.1-2 мкм[35].

*Інші перспективні технології*

Серед новітніх – високогравітаційна технологія (HiGee) для ефективного вловлення часток та газів у компактних пристроях, а також мокрі електростатичні скрубери (WESP) для субмікронних часток (0.01 мкм з 99.9% ефективністю). Ці технології застосовуються в нафтогазовій галузі та для дизельних викидів, пропонуючи комбіноване видалення забруднювачів.

2.2.4. Порівняння технологій та критерії вибору

Циклони підходять для грубих часток з низькими витратами, ESP – для дрібних сухих часток з високою ефективністю, багхаузи – для універсального вловлення, скрубери – для вологих середовищ. Критерії вибору: розмір часток, об'єм потоку, температура, вологість, вартість та регуляторні вимоги. Комбіновані системи часто забезпечують оптимальний результат.

Технології вловлення зважених часток є невід'ємною частиною сучасної промисловості, сприяючи стійкому розвитку. Їх впровадження вимагає балансу між ефективністю, вартістю та екологічними аспектами, з перспективами на інновації для зменшення "зеленого зазору" у вловленні субмікронних часток[36].

**Питання для самоперевірки**

1. Які основні джерела зважених часток у промислових газових викидах?
2. Як класифікуються зважені частки за розміром та чому це важливо для вибору технології вловлення?
3. Які фізичні принципи лежать в основі вловлення зважених часток?
4. Як працює циклонний сепаратор та в яких галузях він найчастіше застосовується?
5. Які переваги та недоліки електростатичних осаджувачів у порівнянні з іншими технологіями?
6. Як відбувається процес фільтрації в тканинних фільтрах та які фактори впливають на їх ефективність?
7. У чому полягає принцип роботи мокрих скруберів та коли їх використання є найбільш доцільним?
8. Які перспективні технології вловлення зважених часток існують для субмікронних розмірів?
9. Які критерії слід враховувати при виборі технології вловлення для конкретного промислового процесу?
10. Як комбіноване використання технологій може підвищити загальну ефективність очищення газових викидів?

ТЕМА 2.3. ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

***Мета вивчення теми:*** всебічний огляд сучасних фільтрувальних матеріалів та формування розуміння принципів функціонування нових матеріалів, їх переваг у зменшенні професійних ризиків, забезпечення дотримання нормативів безпеки та підвищення ефективності систем захисту працівників.

***План***

2.3.1. Проблеми шкідливих речовин, класифікація та принципи фільтрації

2.3.2. Нові наноматеріали та їх інтеграція в фільтрацію

2.3.3. Смарт-матеріали, застосування в системах захисту та перспективи

***Ключові терміни:*** Шкідливі речовини, фільтрувальні матеріали, нанофібри, електроспіннінг, антимікробні покриття, смарт-матеріали, засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), респіратори, ефективність фільтрації, професійні ризики, екологічні нормативи, NIOSH класифікація, активоване вугілля, біорозкладні фільтри.

2.3.1. Проблеми шкідливих речовин, класифікація та принципи фільтрації

У сучасних промислових умовах працівники часто стикаються з шкідливими речовинами, такими як аерозолі, гази, пари та тверді частки, що виникають у процесах виробництва, хімічної обробки, гірничої справи чи будівництва. Ці речовини можуть спричиняти респіраторні захворювання, отруєння чи хронічні патології, що робить їх захист ключовим аспектом охорони праці.

Згідно з рекомендаціями Національного інституту безпеки та гігієни праці США (NIOSH), ефективний захист вимагає використання фільтрувальних матеріалів, які запобігають проникненню забруднювачів у дихальні шляхи або навколишнє середовище. Шкідливі речовини класифікуються за агрегатним станом (гази, пари, аерозолі), токсичністю (гостра чи хронічна) та розміром часток (наприклад, PM2.5 для часток діаметром до 2,5 мкм, що проникають глибоко в легені). Необхідність фільтрації обумовлена нормативами OSHA та EPA, які встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) [37] для речовин, таких як азбест, важкі метали чи органічні розчинники. Основні принципи фільтрації в охороні праці включають механічне утримання (інерційне осадження, дифузія), хімічну адсорбцію (використання активованого вугілля для газів) та електростатичне притягання (зарядження часток для їх захоплення). Традиційні матеріали, такі як бавовняні чи паперові фільтри, забезпечують базовий захист, але мають обмеження, зокрема низьку ефективність проти субмікронних часток (менше 90% для PM0.1) та швидке засмічення, що призводить до зростання опору диханню та зниження комфорту. У контексті інновацій, перехід до нових матеріалів спрямований на подолання цих недоліків, забезпечуючи вищу ефективність (до 99,9%) при збереженні повітропроникності. Наприклад, у гірничій промисловості традиційні фільтри не завжди справляються з пилом, що містить силікатні частки, тоді як нові матеріали дозволяють інтегрувати антибактеріальні властивості для запобігання інфекціям.

2.3.2. Нові наноматеріали та їх інтеграція в фільтрацію

Розвиток нанотехнологій привів до створення фільтрувальних матеріалів на основі нанофібр, які виробляються методом електроспіннінгу – процесу, де полімерний розчин під високою напругою формує волокна діаметром 50-500 нм. Ці матеріали характеризуються високою поверхневою площею (до 1000 м²/г), що посилює механічне захоплення часток, та пористістю, яка забезпечує низький опір потоку повітря (менше 10 Па при швидкості 5 см/с).

Дослідження показують, що нанофіброві фільтри досягають ефективності 99,9% проти вірусів і бактерій, роблячи їх ідеальними для респіраторів класу N95/N99. Додавання наночасток срібла чи оксиду цинку надає антимікробні властивості, запобігаючи розмноженню патогенів на поверхні фільтра, що особливо актуально в медичних та харчових галузях. Біорозкладні нанофібри[38] на основі полімолочної кислоти (PLA) пропонують екологічну альтернативу, розкладаючись за 6-12 місяців без шкоди для середовища, і можуть бути самозарядними для електростатичного фільтрування. У порівнянні з традиційними матеріалами, нанофібри зменшують вагу ЗІЗ на 30-50%, підвищуючи комфорт під час тривалої роботи. Однак, їх впровадження вимагає врахування потенційних ризиків, таких як вивільнення наночасток у повітря, що може потребувати додаткових тестів на біосумісність відповідно до стандартів ISO 10993. Інші нові матеріали включають графенові композити, які посилюють адсорбцію газів, та керамічні мембрани для високотемпературної фільтрації в металургії, де вони витримують температури до 800°C без деградації. Ці матеріали інтегруються в картриджі респіраторів, поєднуючи механічну фільтрацію з хімічною, наприклад, активованим вугіллям, модифікованим наночастками для кращого захоплення летких органічних сполук (ЛОС).

2.3.3. Смарт-матеріали, застосування в системах захисту та перспективи

Смарт-матеріали представляють наступний рівень інновацій, реагуючи на зовнішні стимули, такі як рівень забруднення чи вологість, для адаптивної фільтрації. Наприклад, фільтри з гідрогелевими добавками змінюють пористість у відповідь на вологу, запобігаючи конденсації в респіраторах, а сенсорні нанофібри з вбудованими датчиками виявляють насичення фільтра та сигналізують про необхідність заміни. У ЗІЗ, таких як маски та респіратори, нові матеріали застосовуються для захисту від хімічних речовин, забезпечуючи комбінований захист (наприклад, проти газів і аерозолів) з ефективністю, що перевищує вимоги FFP3 класу. У системах колективного захисту, як вентиляційні фільтри в промислових приміщеннях, нанофібри інтегруються в HEPA-системи, зменшуючи енергоспоживання на 20-30% завдяки нижчому гідравлічному опору. Переваги включають подовження терміну служби (до 2-3 разів довше за традиційні), зниження професійних захворювань (на 40-60% у галузях з високим ризиком) та економію на утилізації. Недоліки охоплюють вищу вартість виробництва (на 20-50% дорожче) та необхідність спеціального навчання для працівників. Перспективи розвитку спрямовані на інтеграцію з ІІ для прогнозування зносу фільтрів та створення гібридних матеріалів для захисту від "вічних хімікатів" (PFAS), як у фільтрах на основі перероблених матеріалів. У контексті охорони праці, впровадження цих технологій сприяє стійкому розвитку, зменшуючи вплив на здоров'я та середовище[39].

Нові фільтрувальні матеріали революціонізують захист від шкідливих речовин, поєднуючи високу ефективність з комфортом та екологічністю. Їх інтеграція в охорону праці вимагає балансу між інноваціями та безпекою, з фокусом на стандартизації та тестуванні для мінімізації ризиків.

**Питання для самоконтролю**

1. Які основні джерела шкідливих речовин у робочому середовищі та чому фільтрація є необхідною для їх захисту?
2. Як класифікуються шкідливі речовини за розміром і токсичністю, і як це впливає на вибір фільтрувальних матеріалів?
3. Які принципи лежать в основі фільтрації в охороні праці та які обмеження мають традиційні матеріали?
4. Як працює метод електроспіннінгу для створення нанофібр і які їх ключові властивості для фільтрації?
5. Які переваги нанофібрових фільтрів порівняно з традиційними в контексті респіраторного захисту?
6. Як антимікробні добавки, такі як наночастки срібла, посилюють функціональність фільтрувальних матеріалів?
7. У чому полягає концепція смарт-матеріалів у фільтрації та як вони адаптуються до умов середовища?
8. Які приклади застосування нових фільтрувальних матеріалів у засобах індивідуального захисту та вентиляційних системах?

ТЕМА 2.4 ІННОВАЦІЙНІ УСТАНОВКИ СУХОГО ПРИНЦИПУ ДІЇ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ.

***Мета вивчення:*** Ознайомитися з основними джерелами пилоутворення на промислових підприємствах та їх впливом на стан навколишнього середовища й здоров’я людини. Розглянути інноваційні установки сухого принципу дії для покращення якості повітря робочої зони.

***План***

2.4.1 Проблема пилоутворення на промислових підприємствах.

2.4.2 Основні джерела і фактори пилоутворення.

2.4.3 Практичні приклади впровадження заходів та їх екологічний ефект.

***Ключові слова*:** пилоутворення, пилопридушення, водяне зрошення, суха аспірація, рукавний фільтр, електрофільтр, полімерні реагенти, екологічна безпека, ефективність пилопридушення, засоби індивідуального захисту.

2.4.1 Проблема пилоутворення на промислових підприємствах.

Значна частина промислового пилу – змішаного походження, тобто. складається з частинок неорганічних і органічних або, будучи органічною, включає частинки мінерального і металевого пилу. Це потрібно враховувати при виборі методів очищення та пиловловлюючого обладнання[40]. Існують такі методи боротьби з пилом на гірських підприємствах.

* попередження або зниження пилоутворення. Реалізація цього напрямку може бути забезпечена впровадженням машин з великою сколом вугілля, а також попереднім зволоженням вугільного масиву шляхом нагнітання води в пласт через свердловини, що пробурені з підготовчих виробок або очисного вибою. Попереднє зволоження зменшує механічну міцність гірських порід, зволожені частинки з'єднуються між собою, швидко осідають. Підвищує ефективність зволоження пласта добавка поверхнево-активних речовин (ПАР). Знижується утворення пилу та у разі використання гідровідбійки вугілля та порід.
* осадження пилу, зваженого у повітрі, шляхом зрошення. Низьконапірне зрошення (тиск рідини у зрошувача до 2МПа) застосовують у очисних та підготовчих вибоях для подачі води в зону руйнування масиву (витрата води 10-25л/т). Застосовується таке зрошення і при навантаженні і перевантаженні гірської маси (витрата води 6-15л/т), а також для осадження пилу, що витає з повітря. Високонапірне зрошення (тиск води до 15МПа) забезпечується туманоутворювачами для осадження пилу, що витає в повітрі.
* для боротьби з пилом використовують також піну, що подається на поверхню, з якої виділяються дрібнодисперсні частинки.
* концентрацію пилу, що виділився в повітря, знижують шляхом додаткової подачі повітря засобами вентиляції.
* пил, що виділяється, видаляють шляхом пиловідсмоктувача.
* для запобігання потраплянню пилу в організм людини використовують засоби індивідуального захисту (респіратори «Пелюстка», Ф-62Ш, «Астра-2»).

Розглянемо процес утворення пилу на прикладі дроблення породи її транспортування конвеєрним транспортом та подальшого розвантаження у відвал.[2]

Приймаємо що у даному прикладі, що розглядається, не можна змінити технологічний процес.

Завантаження породи в дробарку виконується з використанням автосамоскидів. Це призводить до значного виділення пилу. Вирішенням цієї проблеми є застосування водяного зрошення. Як зрошення застосовується системи дрібнодисперсного зрошення («туман»). Застосування дрібнодисперсного зрошення дозволяє ефективно осаджувати пил, що утворюється, і при цьому не відбувається значне зволоження породи (зростання вологості породи призводить до налипання на вузлах обладнання, що негативно позначається на якості роботи і продуктивності дробарки і системи сортування).(Рис.4.1.1)



Рис. 2.2 Система дрібнодисперсного зрошення («туман»).

Наступною ділянкою де відбувається значний процес пилоутворення є вузли навантаження на конвеєрному транспорті. Ефективним методом є застосування аспіраційних систем. До останнього часу в основному застосовувалися системи мокрого та сухого очищення з використанням різних типів Циклонів (Скрубберів), рукавних фільтрів та електрофільтрів.

Ефективність промислових пиловловлювачів складає:

* циклони 88 – 94%,
* рукавні фільтри 90-99,8%
* електрофільтри 80 – 96%.

Використання цих типів обладнання несе додаткові витрати на їх обслуговування та підтримання технічних та експлуатаційних характеристик.

В даний час широке застосування отримують системи сухої аспірації, що використовують як фільтри картриджі.

Прикладом може бути знепилююча установка сухого принципу дії виробництва компанії CFT холдингової групи CFH Німеччина. (рис.2.3)

Установка сухого принципу дії застосовується там, де діють найсуворіші вимоги до якості повітря, що очищається, наприклад, при проведенні робіт з твердими гірськими породами. Завдяки цій установці концентрація залишкового пилу в очищеному повітрі становить до ≤ 0,05 мг/м³, незалежно від вихідної запиленості повітря. Компанія пропонує різні варіанти матеріалів для фільтрації пилу, що містить особливо небезпечні речовини, як наприклад: кварц, азбест або металевий пил (аж до ефективності відповідно до категорії HEPA13).



Рис. 2.3 –Знепилююча установка сухого принципу

Наступний етап – це формування відвалу. На цій ділянці також ефективним буде застосування зрошення з додаванням складів.

Перспективним прикладом у боротьбі з пилоутворенням та переносом пилу є застосування засобів для пилопридушення, таких як водні дисперсії структуроутворюючих акрилових та вінілових сополімерів.

Розглянемо реагент для пилопридушення марки Floset.

Він є екологічно безпечні для навколишнього середовища та людини: не токсичні, не забруднюють ґрунт та воду, знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

Принцип його дії заснований на посиленні властивостей води, що змочують, шляхом утворення полімерної плівки. Відбувається зв'язування окремих частинок у верхньому шарі, запобігаючи їх переміщенню, вирішуючи екологічні проблеми, пов'язані з пилом.( рис.2.4.3)

Рис.2.4 – Формування відвалу з використанням пилопридушливих заходів.

Так на - АТ «ЄВРАЗ КГЗК» впровадження заходів щодо зниження пилоутворення шляхом зрошення тільки ділянка екскавації дозволила знизити викиди протягом 3-х років з 1042,487 т/рік до 156,373 т/рік (85%).

На Інгулецькому гірничо-збагачувальний комбінат (ІнГЗК) компанії Метінвест у 2012 році спільно з науковцями Державного НДІ безпеки праці та екології у гірничорудній та металургійній промисловості (НДІБТГ) розроблено та випробувано нові методи для зв'язування пилу, який піднімався над осушеним хвостосховищем.

Для цього поверхні, що пилять обробляли розчином органічного торфогидроксидного реагенту. Дослідження показали, що відразу після обробки поверхні ефективність зв'язування пилу становила 85%.

2.4.2 Практичні приклади впровадження заходів та їх екологічний ефект.

Розглянемо ефективність заходів щодо боротьби з пилом на дільниці екскавації при відкритій розробці родовища залізниці на одному з гірничо-збагачувальних комбінатів.

Особливістю розробки родовищ з корисними копалинами відкритим способом є специфіка експлуатації кар'єрних вибоїв. Інтенсивним джерелом пилоутворення є процеси екскавації та навантаження гірської маси в кар'єрах. Істотним фактором пилоутворення є низька вологість гірської породи у сухий період року.

На інтенсивність пилоутворення при експлуатації кар'єрних вибоїв зрошення водою екскаваторних вибоїв.

Ця технологія є найефективнішою з погляду зниження пиловиділення і найбезпечнішою, т.к. у навколишнє середовище при цьому не потрапляють хімічні розчини органічних та неорганічних речовин, ПАР, полімерних речовин, емульсій та інших хімічних реагентів. З іншого боку, ця технологія є найбільш економічно доцільною, т.к. при її реалізації використовується лише вода, що застосовується у всіх технологічних процесах комбінату, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати.

Технологія дозволяє знизити викиди пилу в атмосферне повітря. Зниження викидів (пилення) при гідрообезпилення становить 85-90%.

Полив екскаваторних вибоїв планується здійснювати з використанням поливу зрошувальних машин.

На інтенсивність пилоутворення під час експлуатації кар'єрних вибоїв, впливають, в основному, фізико-механічні властивості гірничої маси, її гранулометричний склад, кількість місць екскавації та перевантаження гірничої маси та метеорологічні умови.

Основним видом шкідливого фактора є завислі речовини – пил неорганічний SiO2 70-20%. [41]

Таблиця 2.2 – Дані про рівень викидів шкідливих речовин на технологічних ділянках

|  |  |
| --- | --- |
| Виходячи з особливостей виробничого процесу, єдиним можливим способом зниження пиловиділення є застосування систем пилопридушення водяним зрошенням з використанням машин, установок, розпилювачів. Найменування джерел викидів | Найменування маркерної речовини |
| Зважені речовини (пил неорганічний SiO2 70-20%) т/год |
| Кар’єр - 1. | 499,118 |
| Кар’єр - 2 | 600,100 |
| Кар’єр - 3 | 1894,689 |
| Кар’єр - 4 | 398,933 |
| Річний валовий викид маркерних речовин т/рік | 3392,839 |

**Питання для самоперевірки**

1. Які основні джерела пилоутворення на промислових підприємствах?
2. У чому полягають принципи дії водяного зрошення для пилопридушення?
3. Які типи фільтрів застосовуються в системах сухої аспірації?
4. Чим відрізняється пилопридушення водяним зрошенням від застосування полімерних реагентів?
5. Які основні критерії вибору засобів пилопридушення для конкретного виробництва?
6. Як розраховується потрібна кількість води для зрошення вибоїв?
7. У чому полягає екологічна та виробнича доцільність застосування сучасних систем пилопридушення?
8. Які засоби індивідуального захисту застосовують для запобігання впливу пилу на людину?
9. Які методи контролю й моніторингу ефективності пилопридушення використовують на підприємствах?

ЧАСТИНА 3 ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ

ТЕМА 3.1 МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ.

***Мета вивчення****:* дослідження фізико-хімічних методів покращення процесу згоряння вуглеводневого палива, аналіз впливу магнітних та ультразвукових полів на властивості палив і мастил, а також визначення оптимальних умов для підвищення ефективності, екологічності та довговічності експлуатації паливно-мастильних матеріалів.

***План***

3.1.1 Теоретичні основи та фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив

3.1.2 Вплив електромагнітного поля на структуру та поведінку молекул вуглеводневих палив

3.1.3 Вплив постійного магнітного поля на вуглеводневе паливо

***Ключові терміни:*** фізико-хімічні властивості, вуглеводневі палива, електромагнітне поле, магнітна обробка, магнітна напруженість, реакційна поверхня, повнота згоряння, ультразвуковий вплив, мастила, окислюваність, експлуатаційні властивості, змащувальні властивості, знос, радикали, геомагнітне поле

3.1.1 Теоретичні основи та фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив

Концепція впливу електромагнітного поля на молекули вуглеводного палива була досліджена з часів Ван-дер-Ваальса. Вуглеводні мають довгі сильно розгалужені ланцюги атомів вуглецю, які схильні до загинання та замикання, як на власні атоми так і на прилеглі молекули, через існуюче міжмолекулярне електромагнітне взаємопритягання між ними. Піддаючи ці складні кластерні угруповання діям електромагнітного поля відповідної сили та напрями, вдається зменшити в'язкість палива, забезпечити належне перемішування паливо-повітряної суміші, знизити енерговитрати на випаровування палива та підвищити швидкість горіння. Це пояснюється тим, що це речовини піддаються дії електромагнітного поля більшою чи меншою мірою. У разі вуглеводних палив електромагнітне поле переводить атоми молекул у збуджене положення, що призводить до їхньої переорієнтації відповідно до напрямку дії зовнішнього магнітного поля. Також у процесі переорієнтації відбувається збільшення відстані між атомами та зростання реакційної поверхні палива та як наслідок підвищення повноти згоряння [42].

Дослідження позитивного впливу магнітного на експлуатаційні властивості реактивних палив Т-1, ТС-1. Ці дослідження показали, що при напруженості магнітного поля 560…640 кА/м та оптимальній швидкості переміщення реактивного палива 0,5…0,7 м/с змащувальні властивості палива Т-7 покращуються при терті ковзання на 12…15 %, а при терті кочення - в 2 ... 2,5 рази. Довговічність підшипників кочення серед гасу після магнітної обробки збільшилася в 2,7 разу. При напруженості магнітного поля 320 кА/м зменшилася схильність вуглеводневого палива до електризації приблизно 2 рази. Окислюваність реактивного палива, підданого впливу постійного магнітного поля напруженістю 640кА/м, зменшується в 1,5...2 рази.

Дослідження різних методів впливу на фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив призначене для забезпечення надійної експлуатації теплових двигунів, зниження витрати палива та зменшення токсичності газів, що відпрацювали в умовах експлуатації.

Вітчизняний та зарубіжний досвід експлуатації теплових двигунів показує, що якість застосовуваних палив оцінюється за їх фізико-хімічними, експлуатаційними та екологічними властивостями. До фізико-хімічних відносяться властивості, що визначають фізичні та хімічні властивості палив та мастильних матеріалів, а також їх склад. Це – щільність, в'язкість, теплоємність, теплопровідність, діелектрична проникність, елементний, фракційний та хімічний склади; тиск насиченої пари та інші. [43].

Сучасні палива та мастильні матеріали, отримані з нафтової сировини, є надзвичайно складною сумішшю вуглеводнів. Практично у всіх типах палива є невуглеводневі сполуки. До них відносяться: кисневмісні, сірчисті та азотисті сполуки, тверді мікрозабруднення та розчинні елементно-органічні сполуки. Сірки, кисню та азоту в паливах зазвичай міститься від часток відсотка до 1…2%. Незважаючи на це, через відмінність їх властивостей від властивостей вуглеводнів невуглеводневі сполуки суттєво впливають на експлуатаційні властивості теплових двигунів. Тому для отримання достовірних результатів при дослідженні магнітного впливу на експлуатаційні властивості пально-мастильних матеріалів необхідно знати зміни їх фізико-хімічних властивостей.

При дослідженні протизносних властивостей різних масел (авіаційної, індустріальної, циліндрової та автотракторної) автори відзначають, що пропускання мастила через магнітне поле соленоїда, сприяє зменшенню зносу колісних пар в 4-6 разів. Аналогічні результати отримано і щодо зносу валів.

За даними дослідження [44] для збільшення хімічної активності газоподібного кисню при окисненні вуглеводневих палив рекомендується магнітний вплив. При цьому ефективність згоряння бензину в автомобільному двигуні зростає.

Дослідження магнітного на бензин розглядаються у роботі [45]. Японськими дослідниками відзначено зменшення закупорки розпилювача, зниження нагару та концентрації сажі. Зменшується димність та зольність, знижується викид оксидів азоту. Магнітна обробка бензину збільшує швидкість горіння, що позначається на максимальному тиску згоряння і при цьому збільшується повнота згоряння. Проведені випробування на автомобілях марок Toyota, Honda, Nissan показали, що в результаті магнітної обробки палива пробіг на одному літрі бензину збільшується в середньому на 12%.

У роботі [46] висунуто гіпотезу можливості впливу зовнішніх магнітних полів (постійних та змінних) на швидкість окислення вуглеводнів у рідкій фазі при малих глибинах перетворення. На думку авторів, сенс впливу магнітного поля полягає у зміні частки виходу радикалів з пари, що утворилася.

Експериментальними дослідженнями та розвитком теоретичних уявлень доведено вплив слабких магнітних полів, у межах 3,2...80кА/м, на швидкість і селективність хімічних процесів у конденсованій фазі в низці практично важливих хімічних процесів. Результати роботи відкривають нові можливості вивчення та управління реакціями радикалів та збуджених молекул.

На підставі численних дослідів [47] показано важливість орієнтації досліджуваного об'єкта по відношенню до магнітних полюсів. На підставі досліджень було виявлено, що будь-яка реакція, процес або властивість, що вивчається, у одного і того ж об'єкта змінюються в залежності від його орієнтації щодо вектора геомагнітного поля.

Під впливом магнітного поля реакційна здатність парамагнітних сполук має збільшуватись. При пропущенні кисню через магнітне поле відбувається збільшення його реакційної здатності, що призводить до активізації реакції окиснення вуглеводневого палива та інших органічних сполук. За даними роботи [48] магнітна дія змінює швидкість реакції фотоокислення ароматичних вуглеводнів.

Крім магнітного впливу на вуглеводневі середовища в деяких роботах розглядаються питання, пов'язані зі зміною фізичних та експлуатаційних характеристик палива та мастила після інших видів впливу. У роботі наводяться дані досліджень впливу ультразвуку на склад авіаційного гасу. Автори припускають можливість перегрупування граничних і ненасичених вуглеводнів у гасі за рахунок опромінення його інтенсивним ультразвуком, так як в органічних сполуках ультразвук прискорює реакції окиснення - відновлення, викликає внутрішньомолекулярні перегрупування, виникає розпад хімічних зв'язків з утворенням вільних радикалів.

Підвищення якості дизельного палива здійснюють за допомогою лазерного ультрафіолетового випромінювання. Сутність запропонованого способу полягає в тому, що отримане дизельне паливо піддають впливу лазерного випромінювання довжиною хвилі 1,06 мкм і потужністю 100...150 Вт за допомогою спеціального пристрою.

Вплив іонізації на електричні та механічні властивості індустріальних масел було досліджено у роботі. Під впливом іонізуючого гаммаопромінення знижується електричний опір, підвищується кислотність та в'язкість опроміненого мастила. Опромінені масла мають підвищені протизносні властивості, при цьому критичне осьове навантаження схоплювання збільшується. Проте за умов реальної експлуатації закладений рівень надійності теплового двигуна повністю реалізується. Відбувається це внаслідок впливу наступних зовнішніх факторів: кліматичних, ґрунтово-дорожніх умов, низького рівня технічної експлуатації (порушення обсягу та регламенту проведення операцій технічного обслуговування, застосування палива з низькими експлуатаційними властивостями) та ін.

Однією з найважливіших умов реалізації надійності і довговічності теплового двигуна застосування високоякісних сортів палива з поліпшеними експлуатаційними властивостями, т.к. саме ці властивості найчастіше вирішальним чином впливають на ефективність застосування різноманітної техніки. Взаємозв'язок між експлуатаційною надійністю, довговічністю двигуна та якістю застосовуваних палив очевидний.

Найважливішими експлуатаційними властивостями вуглеводневих палив і масел, що впливають на експлуатаційні показники є: енергетичні властивості, займистість, детонаційна стійкість, схильність до нагаро- і лакоутворення, фізична і хімічна стабільність, випаровування, низькотемпературні властивості, повнота згоряння протизносні та протизадирні властивості, чистота (механічні домішки), екологічні та інші властивості.

Таким чином, питання якості палива мають вирішальне значення у визначенні перспектив розвитку двигунобудування. Наукове обґрунтування вимог до якості палив та масел, оцінка найважливіших їх експлуатаційних властивостей – все це набуває першочергового значення в технічній експлуатації автомобільного транспорту[49].

У зв'язку з цим опрацьовуються різні шляхи вирішення проблеми поліпшення експлуатаційних властивостей палива безреагентними методами, тобто. підвищення потужності та економічності двигунів за рахунок використання палив з підвищеним "енергозапасом".

Останнім часом створено передумови для промислової розробки нових способів та найбільш перспективних напрямів покращення показників роботи двигуна. Так, для зміни фізико-хімічних, експлуатаційних та екологічних властивостей рідких систем широко досліджуються способи електрофізичного впливу, такі як: магнітні та електричні поля, струми високої частоти, ультразвук, ультрафіолетове та γ- опромінення, лазерне випромінювання і т.д.

З перерахованих способів найбільшого поширення у вітчизняній та зарубіжній промисловості набуло застосування магнітного поля та ультразвуку. Особливе місце у зв'язку з простотою технічного рішення та високою економічною ефективністю отримав спосіб магнітного впливу. Сутність його полягає в тому, що технологічна рідина (паливо) з певною швидкістю пропускають через пристрій, в якому створені магнітні поля (постійні або змінні) з відомими характеристиками та топографією поля, внаслідок чого вона набуває підвищеного "енергозапасу", що впливає на експлуатаційні властивості палива та мастила.

Проте досі немає певного наукового пояснення електромагнітного на рідкі системи. Суперечливість відомих з літератури даних обумовлена випадковим вибором конструкції пристроїв, режимів впливу та відсутністю поточного контролю. Жоден із апаратів для магнітного впливу не виготовлений на підставі експериментально отриманих залежностей або достатньо обґрунтованих теоретичних передумов.

**Питання для самоконтролю**

1. Які основні фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив впливають на процес їхнього згоряння?
2. Яким чином електромагнітне поле впливає на в’язкість і якість змішування паливно-повітряної суміші?
3. Які зміни в експлуатаційних характеристиках реактивних палив спостерігаються після обробки магнітним полем?
4. Які типи невуглеводневих сполук присутні в паливах і як вони впливають на роботу теплових двигунів?
5. Як магнітна обробка впливає на зменшення зносу в мастильних матеріалах?
6. Які покращення в характеристиках бензину, такі як димність чи повнота згоряння, досягаються завдяки магнітній обробці?
7. Яка роль магнітного поля в зміні швидкості окислення вуглеводнів у рідкій фазі?
8. Які альтернативні методи, окрім магнітного впливу, використовуються для модифікації фізико-хімічних властивостей палив і мастил?

ТЕМА 3.2. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ.

***Мета вивчення***: аналіз впливу магнітних полів на властивості палив і мастил.

***План***

3.2.1 Вплив постійного магнітного поля на вуглеводневе паливо

***Ключові терміни*:** фізико-хімічні властивості, вуглеводневі палива, електромагнітне поле, магнітна обробка, магнітна напруженість, реакційна поверхня, повнота згоряння, ультразвуковий вплив, мастила, окислюваність, експлуатаційні властивості, змащувальні властивості, знос, радикали, геомагнітне поле

3.2.1 Вплив постійного магнітного поля на вуглеводневе паливо

З моменту виробництва на заводі і до згоряння двигуна на паливо впливає ряд факторів, які викликають зміну експлуатаційних властивостей. Ступінь зміни якості палив під впливом цих факторів різна залежно від їхнього складу.

При тривалому зберіганні бензинів та дизельних палив у результаті окислення утворюються смоли, які поряд з киснем містять сірку та азот. Первинні гетероорганічні домішки, що містяться в паливі, беруть активну участь у смолоутворенні, перетворюючись під дією кисню та випромінювання в смолисті речовини.

Залежно від хімічного складу та структурних особливостей вуглеводневих сполук, що входять до складу палив та мастил, магнітна сприйнятливість нафтопродуктів буде різною.

Вуглеводневий склад палив і масел має діамагнітні властивості, а вільні радикали, розчинений у паливі кисень і кисневмісні елементи мають яскраво виражені парамагнітні властивості [50].

При транспортуванні, зберіганні та експлуатації вуглеводневі рідини розчиняють до 25% повітря завдяки процесу дифузії або при перемішуванні. Розчинність газів повітря підпорядковується закону Генрі [51] і залежить від хімічного складу розчинника, парціального тиску газів та температури навколишнього середовища. У поверхневому шарі палива розчиняється значно більше газів, у тому числі й кисню, ніж в аналогічних шарах за товщиною, розташованих в іншому обсязі палива. За нормальних умов у паливах вміст кисню на 60-70% вищий, ніж азоту [52].

Таким чином, окислення товарного палива в магнітному полі при статичному режимі впливу, вільному доступі повітря до поверхні рідини та опроміненні розсіяним денним світлом відбувається зі значно меншою глибиною та швидкістю. Це очевидно, пов'язано з утворенням продуктів окиснення вуглеводнів, які, розподілялися по всьому обсягу палива, утворюють невеликі асоціати, що гальмують подальший окислення. Прискорення процесу автоокислення світловою енергією пояснюється з допомогою підвищення енергії електронів, отримання кванта енергії, і їх на більш високий енергетичний рівень чи відриву від нейтральної молекули.

Дуже ефективним методом контролю фізико-хімічних властивостей можна здійснювати зміни електричних характеристик вуглеводневих рідин, а саме, зміни діелектричної проникності речовини. Результати досліджень діелектричної проникності добре корелюються з даними при вимірюванні оптичної щільності, що підтверджує збільшення концентрації продуктів окислення в паливах та вплив магнітного поля на окислювальні процеси. Причому для різних умов експерименту цей вплив різний, що пов’язано з різницею магнітних властивостей вуглеводнів і кисню. Також відомо, що механізм окиснення різних груп вуглеводнів неоднаковий. Майже вуглеводні різних груп окислюються не порізно, а суміші друг з одним, причому одні їх ініціюють, інші гальмують окислення інших, тобто. є інгібіторами. Гальмує дію також деякі продукти окислення, що утворюються. Тому встановити єдині та тверді закономірності окислення таких складних сумішей як вуглеводневі палива у магнітних полях завдання дуже складне.

**Питання для самоконтролю**

1. Яким чином електромагнітне поле впливає на молекули вуглеводневих палив?
2. Які експлуатаційні властивості палива змінюються під впливом магнітного поля?
3. Які оптимальні параметри магнітної напруженості для покращення властивостей реактивних палив?
4. Яким чином магнітна обробка впливає на довговічність підшипників кочення?
5. Які результати дає застосування магнітного поля до мастил різних типів?

ТЕМА 3.3. ВИКОРИСТАННЯ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

***Мета вивчення****:* формування глибокого розуміння, як застосування постійного магнітного поля для оптимізації роботи теплових двигунів сприяє підвищенню ефективності двигунів, зменшенню професійних ризиків для операторів, таких як експозиція до токсичних викидів та механічний знос, а також дотриманню нормативів безпеки в промислових умовах.

**План**

3.3.1 Концепції магнітного впливу на теплові двигуни, теоретичні основи взаємодії магнітного поля з вуглеводневими паливами та класифікація ефектів

3.3.2. Експериментальні дослідження ефектів магнітної обробки та практичні аспекти застосування в теплових двигунах

3.3.3. Переваги, обмеження технології та перспективи розвитку з інтеграцією в системи охорони праці

***Ключові терміни*:** Постійне магнітне поле, теплові двигуни, вуглеводневі палива, оптимізація згоряння, в'язкість палива, іонізація молекул, ефективність двигуна, зменшення викидів, знос деталей, професійні ризики, NIOSH рекомендації, екологічні нормативи, магнітні пристрої, паливна лінія, протизносні властивості, міжмолекулярні сили, радикальні реакції, селективність процесів, біодизель, ELF поля.

3.3.1. Концепції магнітного впливу на теплові двигуни, теоретичні основи взаємодії магнітного поля з вуглеводневими паливами

У сучасних промислових системах теплові двигуни, включаючи дизельні, бензинові та реактивні, відіграють центральну роль у транспорті, енергетиці та виробництві, проте їх ефективність часто обмежується неповним згорянням палива, що призводить до підвищених викидів шкідливих речовин, швидкого зносу компонентів та збільшення професійних ризиків для операторів, таких як отруєння газами чи травми від аварій. Застосування постійного магнітного поля в паливній лінії представляє інноваційний безреагентний метод оптимізації[53], який базується на фундаментальних принципах електромагнітної взаємодії з молекулами вуглеводнів, дозволяючи досягти кращого перемішування паливо-повітряної суміші, зниження енерговитрат на випаровування та підвищення швидкості горіння. Концепція цього методу сягає класичних досліджень Ван-дер-Ваальса щодо міжмолекулярних сил притягання в довгих, сильно розгалужених ланцюгах атомів вуглецю, які схильні до загинання, замикання та утворення кластерів через електромагнітне взаємопритягання, що збільшує в'язкість і ускладнює згоряння. Під впливом постійного магнітного поля напруженістю від 320 до 640 кА/м молекули палива, наприклад, у реактивних паливах Т-1 чи ТС-1, переходять у збуджений стан, де атоми переорієнтовуються відповідно до напрямку поля, збільшуючи відстань між ними, розширюючи реакційну поверхню та як наслідок підвищуючи повноту згоряння на 10-15%. Теоретично, це пояснюється парамагнітними властивостями компонентів палива, включаючи кисневмісні, сірчисті та азотисті сполуки, де поле посилює окислення, зменшує електризацію приблизно в 2 рази та окислюваність в 1,5-2 рази, сприяючи стабільності хімічних процесів. Класифікація ефектів охоплює фізичні аспекти (зниження в'язкості на 30-50%, покращення текучості та теплоємності), хімічні (зменшення схильності до нагароутворення, лакоутворення та детонації за рахунок зміни селективності радикальних реакцій) та механічні (підвищення змащувальних властивостей на 12-15% при терті ковзання та в 2-2,5 рази при коченні, подовження довговічності підшипників у 2,7 рази). У контексті охорони праці, цей метод зменшує ризики отруєння викидами, механічних аварій та хронічних захворювань, відповідаючи нормам OSHA та EPA щодо експлуатації двигунів у замкнутих приміщеннях, де концентрація шкідливих речовин не повинна перевищувати гранично допустимі рівні. Порівняно з альтернативними методами, такими як ультразвук (який прискорює окиснення-відновлення та утворення вільних радикалів у органічних сполуках) чи лазерне ультрафіолетове випромінювання (з довжиною хвилі 1,06 мкм та потужністю 100-150 Вт для перегрупування вуглеводнів), магнітне поле вирізняється простотою конструкції, низькою енерговитратністю та відсутністю необхідності в радикальних змінах конструкції двигуна, роблячи його ідеальним для ретрофітінгу існуючих систем. Крім того, врахування орієнтації об'єкта відносно геомагнітного поля є критичним, оскільки дослідження показують, що реакції та властивості змінюються залежно від вектора поля, що вимагає точного позиціонування магнітних пристроїв для максимальної ефективності.

3.3.2. Експериментальні дослідження ефектів магнітної обробки та практичні аспекти застосування в теплових двигунах

Експериментальні дані з численних досліджень підтверджують ефективність постійного магнітного поля в оптимізації роботи теплових двигунів, демонструючи конкретні покращення в фізико-хімічних та експлуатаційних властивостях палив. Наприклад, дослідження реактивних палив Т-1 і ТС-1 при напруженості поля 560-640 кА/м та швидкості потоку 0,5-0,7 м/с показали покращення змащувальних властивостей, подовження довговічності підшипників у 2,7 рази, зменшення електризації в 2 рази та окислюваності в 1,5-2 рази, що безпосередньо впливає на надійність двигунів у авіації та транспорті. Для бензину, магнітна обробка, за даними японських дослідників, знижує закупорку розпилювачів, нагароутворення, концентрацію сажі, димність та зольність, а також викиди оксидів азоту, підвищуючи швидкість горіння, максимальний тиск згоряння та повноту згоряння, з економією палива до 12% у випробуваннях на автомобілях марок Toyota, Honda та Nissan, де пробіг на одному літрі збільшився в середньому на 12%. У дизельних двигунах, монтаж постійних магнітів у паливній лінії зменшує в'язкість, покращує атомізацію палива та знижує викиди CO і HC на 30-40%, з підвищенням гальмівної теплової ефективності (BTE) на 4-11% для біодизелю, що особливо актуально для важкої техніки в будівництві та гірничій промисловості. Гіпотези про вплив поля на радикальні реакції в рідкій фазі, включаючи зміну частки виходу радикалів з пар, підтверджуються експериментами при слабких полях 3,2-80 кА/м, де швидкість і селективність хімічних процесів у конденсованій фазі зростають, відкриваючи можливості для управління реакціями збуджених молекул.

Практичні пристрої для застосування включають соленоїди або постійні магніти з неодіму в паливопроводі, з оптимальною швидкістю потоку 0,5-0,7 м/с та напруженістю поля, адаптованою до типу палива, що забезпечує простоту інтеграції в існуючі системи без значних модифікацій. У промисловості, наприклад, у металургійних заводах чи автотранспорті, це застосовується для зменшення зносу валів, колісних пар та інших компонентів у 4-6 разів, подовжуючи термін служби двигунів і зменшуючи частоту технічного обслуговування, що знижує ризики для працівників під час ремонтів. Крім того, комбінація з іншими методами, такими як іонізація гамма-опроміненням (яке знижує електричний опір і підвищує протизносні властивості мастил) або ультразвуком (для перегрупування вуглеводнів у гасі), дозволяє досягти синергетичних ефектів, наприклад, підвищення критичного навантаження схоплювання в опромінених маслах. У контексті охорони праці, рекомендації NIOSH щодо моніторингу extremely low frequency (ELF) [54] полів у робочих зонах є ключовими для захисту працівників з медичними імплантатами, де експозиція не повинна перевищувати безпечні рівні, щоб уникнути біологічних ефектів, таких як вплив на нервову систему.

3.3.3. Переваги, обмеження технології та перспективи розвитку з інтеграцією в системи охорони праці

Переваги застосування постійного магнітного поля в оптимізації теплових двигунів включають значну економію палива на рівні 9-14%, зменшення викидів NOx, сажі та інших токсичних речовин, підвищення потужності двигунів без необхідності в конструктивних змінах, а також низькі витрати на впровадження та обслуговування, що робить технологію доступною для малого та середнього бізнесу в транспортній та енергетичній галузях. Крім того, покращення протизносних властивостей мастил та палив сприяє зниженню механічних поломок, зменшуючи професійні ризики травм та хронічних захворювань, пов'язаних з вібраціями та шумом, з потенціалом скорочення захворювань на 40-60% у ризикованих середовищах. Обмеження технології охоплюють суперечливість експериментальних даних через варіативність конструкцій пристроїв та режимів впливу, відсутність єдиної теоретичної моделі, що пояснює всі ефекти на молекулярному рівні, а також потенційні ризики для працівників з активними імплантованими медичними пристроями (AIMD), де статичні поля до 2 Т можуть викликати інтерференцію, відповідно до норм ICNIRP та OSHA, що вимагає обов'язкового скринінгу персоналу. Перспективи розвитку спрямовані на інтеграцію з наноадитивами, такими як наночастки срібла чи оксиду цинку, для посилення іонізації та антимікробних властивостей палив, комбінацію з іншими методами (ультразвук чи лазерне опромінювання) для гібридних систем, а також стандартизацію пристроїв для промислового масштабування з фокусом на автоматизований контроль поля через сенсори, що забезпечить адаптивність до змінних умов експлуатації. У контексті охорони праці, інтеграція з системами моніторингу, такими як носимі пристрої для відстеження експозиції до полів та викидів, дозволить реалізувати проактивний підхід до безпеки, сприяючи стійкому розвитку та мінімізації екологічного впливу. Загалом, постійне магнітне поле є перспективним інструментом оптимізації теплових двигунів, поєднуючи ефективність з безпекою праці, але вимагає подальших досліджень для стандартизації та повного розкриття потенціалу в промислових застосуваннях.

**Питання для самоконтролю**

1. Яким чином постійне магнітне поле впливає на молекулярну структуру вуглеводневих палив?
2. Які ключові теоретичні принципи лежать в основі зменшення в'язкості палива під дією магнітного поля?
3. Які експериментальні ефекти спостерігаються при магнітній обробці реактивних палив, таких як Т-1 чи ТС-1?
4. Як магнітне поле сприяє покращенню згоряння бензину в автомобільних двигунах?
5. Які практичні пристрої використовуються для застосування магнітного поля в паливних системах теплових двигунів?
6. Які переваги магнітної обробки в контексті зменшення зносу деталей двигунів?
7. Які обмеження існують у впровадженні технології постійного магнітного поля для оптимізації?
8. Як орієнтація об'єкта відносно магнітного поля впливає на ефективність обробки палива?
9. Які альтернативні методи оптимізації, окрім магнітного впливу, можуть комбінуватися для кращих результатів?

ТЕМА 3.4. ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

***Мета вивчення****:* всебічний аналіз покращення умов праці та екологічних ефектів від впровадження інноваційного методу оптимізації теплових двигунів за допомогою постійного магнітного поля, з акцентом на зменшення професійних ризиків, викидів та ресурсів, а також оцінку довгострокових впливів на здоров'я працівників та навколишнє середовище.

***План***

3.4.1 Інноваційний метод оптимізації та його впливу на умови праці, з акцентом на зменшення професійних ризиків

3.4.2. Екологічні ефекти від зменшення викидів та ресурсів, з практичними прикладами впровадження та оцінкою ефективності

3.4.3. Переваги, виклики та перспективи розвитку з інтеграцією в системи охорони праці та стійкого розвитку

***Ключові терміни:*** Інноваційний метод оптимізації, теплові двигуни, умови праці, екологічний ефект, зменшення викидів, професійні ризики, токсичні гази, економія ресурсів, OSHA нормативи, магнітна обробка, здоров'я працівників, стійкий розвиток, CO та HC викиди, знос обладнання, біологічні ефекти полів, ELF експозиція, біодизель, колективний захист, респіраторні захворювання, ICNIRP норми.

3.4.1. Вступ до інноваційного методу оптимізації та його впливу на умови праці, з акцентом на зменшення професійних ризиків

Інноваційний метод оптимізації теплових двигунів за допомогою постійного магнітного поля в паливній лінії не лише підвищує ефективність згоряння, але й суттєво покращує умови праці в промислових середовищах, де працівники регулярно стикаються з шкідливими факторами, такими як токсичні викиди, шум, вібрації та механічні ризики від зносу обладнання. Цей метод, базований на модифікації фізико-хімічних властивостей палив через електромагнітну взаємодію, зменшує концентрацію токсичних газів, таких як CO, HC та NOx, на 30-40%, відповідно до експериментальних даних з досліджень бензинових та дизельних двигунів, що безпосередньо сприяє запобіганню респіраторним захворюванням, серцево-судинним патологіям та хронічним отруєнням серед операторів. Покращення умов праці проявляється в подовженні терміну служби обладнання за рахунок зменшення зносу на 4-6 разів, що знижує ймовірність аварій, травм та необхідність частого технічного обслуговування, де працівники ризикують контактом з мастилами та газами. Згідно з рекомендаціями Національного інституту безпеки та гігієни праці США (NIOSH), моніторинг extremely low frequency (ELF) полів у робочих зонах є критичним для захисту працівників з імплантатами, де експозиція не перевищує 2 Т, щоб уникнути потенційних біологічних ефектів, таких як вплив на нервову систему чи когнітивні функції, включаючи ризик деменції при тривалій експозиції. Метод також сприяє зниженню шуму та вібрацій через стабільніше згоряння, зменшуючи акустичне навантаження на 10-15 дБ у промислових приміщеннях, що відповідає нормам OSHA щодо граничних рівнів шуму (85 дБ для 8-годинного дня), і запобігає слуховим розладам та стресовим станам. У галузях з високим ризиком, таких як транспорт чи гірнича промисловість, впровадження цієї технології інтегрується з засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), такими як респіратори класу N95, для комбінованого ефекту, де зменшення викидів дозволяє зменшити залежність від ЗІЗ, підвищуючи комфорт і продуктивність праці. Крім того, економічний аспект включає зниження витрат на медичне обслуговування персоналу через скорочення професійних захворювань на 40-60%, що робить метод вигідним для підприємств, з поверненням інвестицій протягом 1-2 років за рахунок економії палива та ремонтів.

3.4.2. Екологічні ефекти від зменшення викидів та ресурсів, з практичними прикладами впровадження та оцінкою ефективності

Екологічний ефект від впровадження інноваційного методу оптимізації проявляється в значному зменшенні викидів CO2 на 10-15%, NOx, сажі та інших забруднювачів, з економією палива на рівні 9-14%, що сприяє стійкому розвитку в транспорті, енергетиці та виробництві, зменшуючи внесок у глобальне потепління та забруднення повітря. У дизельних генераторах, наприклад, магнітна обробка знижує забруднення на локальному рівні, покращуючи якість повітря в робочих приміщеннях та навколишніх екосистемах, з потенціалом зменшення кислотних дощів через скорочення сірчистих сполук. Практичні приклади впровадження включають автомобільну промисловість, де монтаж магнітних пристроїв у паливних системах автомобілів марок Toyota чи Nissan підвищує пробіг на 12%, зменшуючи екологічне навантаження на урбанізовані території, з оцінкою ефективності через моніторинг викидів за нормами EPA та Euro 6, де тести показують зниження HC на 35% та CO на 40%.

У промислових установках, таких як електростанції на біодизелі, метод комбінується з системами вентиляції для колективного захисту, де зменшення сажі та часток PM2.5 на 50% запобігає їх накопиченню в атмосфері, сприяючи дотриманню норм Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) щодо якості повітря (менше 10 мкг/м³ для PM2.5). Оцінка ефективності проводиться через комплексні метрики, включаючи розрахунок вуглецевого сліду (зменшення на 15-20 т CO2 на рік для середнього підприємства) та моніторинг ресурсів, де економія палива знижує залежність від імпорту нафти, сприяючи енергетичній незалежності.

У контексті охорони праці, це знижує ризик отруєння для працівників, з інтеграцією в системи моніторингу, такі як датчики газів у реальному часі, що дозволяють оперативно реагувати на перевищення норм, та комбінацію з біорозкладними мастилами для мінімізації забруднення ґрунтів під час витоків.

3.4.3. Переваги, виклики та перспективи розвитку з інтеграцією в системи охорони праці та стійкого розвитку

Переваги інноваційного методу охоплюють не тільки економію ресурсів та зменшення захворювань на 40-60% у ризикованих галузях, але й підвищення загальної продуктивності праці через комфортніші умови, з потенціалом для соціальних переваг, таких як скорочення лікарняних днів та підвищення мотивації персоналу.

Виклики включають потенційні біологічні ефекти ELF полів на працівників, де довгострокові дослідження показують можливий вплив на ендокринну систему, що вимагає суворого дотримання норм ICNIRP (експозиція менше 0,2 мТ для статичних полів) та регулярних медичних оглядів, а також технічні труднощі в стандартизації пристроїв для різних типів двигунів. Перспективи розвитку спрямовані на комбінацію методу з адитивами та нанотехнологіями для посилення ефектів, інтеграцію з штучним інтелектом для прогнозування зносу та автоматичного регулювання поля, а також глобальне впровадження через стандарти ISO для охорони праці, з фокусом на адаптацію до альтернативних палив, таких як водневі суміші. Загалом, інноваційний метод забезпечує баланс між ефективністю, безпекою праці та екологією, з потенціалом для широкого застосування в промисловості, сприяючи переходу до зелених технологій та мінімізації антропогенного впливу на довкілля.

**Питання для самоконтролю**

1. Яким чином інноваційний метод оптимізації впливає на зменшення токсичних викидів у робочому середовищі?
2. Які професійні ризики зменшуються завдяки подовженню терміну служби обладнання в теплових двигунах?
3. Як постійне магнітне поле сприяє покращенню якості повітря для працівників промисловості?
4. Які екологічні переваги досягаються через економію палива в транспортних системах?
5. Які нормативи безпеки, такі як OSHA, регулюють експозицію до магнітних полів на робочих місцях?
6. Як метод впливає на зниження шуму та вібрацій, пов'язаних з роботою двигунів?
7. Які практичні приклади демонструють зменшення викидів CO та HC у реальних умовах?
8. Які виклики існують у впровадженні методу для працівників з медичними імплантатами?
9. Як комбінація методу з іншими технологіями посилює екологічний ефект?
10. Які перспективи розвитку методу для стійкого покращення умов праці в енергетиці?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ ЧАСТОТИ ТА ВАЖКОСТІ ТРАВМАТИЗМУ

**Тема:** Розрахунок показників частоти та важкості виробничого травматизму в контексті інноваційних технологій охорони праці

**Мета заняття:** розглянути методи розрахунку коефіцієнтів частоти та важкості травматизму, проаналізувати динаміку цих показників на основі статистичних даних та оцінити потенціал інноваційних технологій (наприклад, AI та IoT) для їх зменшення.

**Засоби навчання:** персональний комп’ютер чи ноутбук, офісне програмне забезпечення (Microsoft Excel або Google Sheets для розрахунків та графіків), можливість підключення до Інтернету, лекційні матеріали, система СЕЗН ЗНУ (на платформі Moodle).

**Завдання для самостійної підготовки:**

**Вивчити:**

– суть та зміст виробничого травматизму;

– сутність коефіцієнтів частоти та важкості травматизму;

– характеристику факторів, що впливають на рівень травматизму;

– види та форми травматизму (з летальним наслідком, з втратою працездатності тощо).

**Ознайомитися:**

– з особливостями статистичних джерел даних про травматизм в Україні (Держстат, Держпраці);

– з необхідністю використання інноваційних технологій для моніторингу та профілактики травматизму;

– з функціональною моделлю аналізу травматизму (розрахунок, динаміка, графіки).

**Практичні завдання**

**Завдання 1.** Використовуючи збірники статистичної інформації (наприклад, дані з сайтів Держстату України та Держпраці), заповніть динамічні ряди даних (табл. 2.1) щодо розвитку виробничого травматизму в Україні за останні 3 роки (2022–2024 рр.). Вхідні дані наведено нижче. Розрахуйте коефіцієнти частоти (KF) та важкості (KV) травматизму, темпи приросту (зменшення) кількості травм та летальних випадків, співвідношення летальних травм у загальній кількості.

За допомогою графічних методів подання інформації (лінійні графіки для динаміки KF та KV, стовпчикові діаграми для кількості травм, секторні діаграми для співвідношення типів травм) відобразіть результати проведеного аналізу. Для розрахунків використовуйте Microsoft Excel: введіть формули в комірки для автоматичного обчислення (формули наведено окремо нижче). Обґрунтуйте тенденції та запропонуйте, як інноваційні технології (наприклад, носимі датчики з AI) можуть вплинути на зменшення показників.

**Таблиця 2.1** **Розвиток виробничого травматизму в Україні за 2022–2024 рр.**

| **Рік** | **Кількість травм (тис. од.)** | **З них летальних (од.)** | **Відпрацьовані людино-дні (млн од.)** | **Дні непрацездатності (тис. днів)** | **Коефіцієнт частоти (KF, на 1 млн людино-днів)** | **Коефіцієнт важкості (KV, днів на 1 травму)** | **Темп приросту кількості травм (%)** | **Співвідношення летальних (%)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2022 | 4.877 | 437 | 1 774 | 146.310 |  |  | - |  |
| 2023 | 5.200 | 450 | 1 750 | 156.000 |  |  |  |  |
| 2024 | 5.800 | 500 | 1 700 | 174.000 |  |  |  |  |

**Примітки до таблиці:**

Вхідні дані про кількість травм та летальних випадків взяті з оперативної статистики Держпраці та Фонду соціального страхування України (2022: 4877 травм, 437 летальних; 2023: ≈5200 травм, ≈450 летальних; 2024: ≈5800 травм, ≈500 летальних, з урахуванням зростання через воєнні умови).

Відпрацьовані людино-дні розраховані як середньооблікова кількість штатних працівників (з Статистичного щорічника України за 2022 р.: ≈7096 тис. осіб для 2022 р., скориговані на зменшення зайнятості для 2023–2024 рр.) × 250 робочих днів на рік.

Дні непрацездатності = Кількість травм × середня тривалість непрацездатності (припустимо 30 днів на травму для розрахунку; реальні дані з Фонду соціального страхування).

Формули для розрахунків у Excel (вставити в порожні комірки таблиці для автоматичного обчислення; припустимо, дані в стовпцях A–D, розрахунки в E–H):

Коефіцієнт частоти (KF, комірка E2 для 2022 р.): =(B2\*1000 / D2) \* 1000000 (кількість травм на 1 млн відпрацьованих людино-днів; скопіювати вниз для E3, E4).

Коефіцієнт важкості (KV, комірка F2 для 2022 р.): =E2 / B2 (середня кількість днів непрацездатності на 1 травму; скопіювати вниз).

Темп приросту кількості травм (комірка G3 для 2023 р.): =(B3 - B2) / B2 \* 100 (відсоток приросту до попереднього року; для G4: =(B4 - B3) / B3 \* 100; G2 = "-").

Співвідношення летальних (комірка H2 для 2022 р.): =C2 / B2 \* 100 (відсоток летальних від загальної кількості; скопіювати вниз).

Після введення формул таблиця автоматично розрахує значення (приклад: KF 2022 ≈ 2.75; KV 2022 = 30; темп приросту 2023 ≈ 6.6%; співвідношення летальних 2022 ≈ 8.96%). Студенти повинні самостійно запустити розрахунки в Excel.

**Завдання 2.** На основі заповненої та розрахованої таблиці побудуйте графіки в Excel:

* Лінійний графік динаміки KF та KV за роками (вісь X – роки, вісь Y – значення коефіцієнтів).
* Стовпчикову діаграму кількості травм та летальних випадків (групова, з двома серіями).
* Секторну діаграму співвідношення летальних та нелетальних травм для 2024 р. Експортуйте графіки у звіт та проаналізуйте: чи зростає травматизм? Як це пов'язано з воєнними умовами? Запропонуйте інноваційні рішення (наприклад, VR-тренінги для зменшення KV).

**Контрольні питання:**

1. Які фактори впливають на KF та KV?
2. Як розрахувати темп приросту? Наведіть приклад.
3. Як інноваційні технології можуть знизити показники травматизму?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. РОЗРАХУНОК ВОДОРОЗПИЛЕННЯ ДЛЯ ПИЛОПРИДУШЕННЯ У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ

**Тема:** Розрахунок параметрів водорозпилення для зволоження та очищення повітря робочої зони в промислових умовах

**Мета заняття:** розглянути методи розрахунку витрат води для водорозпилення з метою пилопридушення, зволоження та охолодження повітря, проаналізувати вплив параметрів повітря на ефективність процесу та оцінити застосування інноваційних технологій (наприклад, датчиків вологості з IoT) для оптимізації.

**Засоби навчання:** персональний комп’ютер чи ноутбук, офісне програмне забезпечення (Microsoft Excel або Google Sheets для розрахунків та графіків), можливість підключення до Інтернету (для таблиць психрометричних даних), лекційні матеріали, система СЕЗН ЗНУ (на платформі Moodle).

**Завдання для самостійної підготовки:**

**Вивчити:**

– суть та застосування водорозпилення для пилопридушення в охороні праці;

– сутність параметрів повітря (абсолютна та відносна вологість, тиск насичення);

– характеристику факторів, що впливають на дисперсність крапель та випаровування води;

– види та форми пилу в робочих зонах (зважений, осідаючий тощо).

**Ознайомитися:**

– з особливостями таблиць психрометричних даних та густини повітря;

– з необхідністю використання питної води та пневматичних форсунок;

– з функціональною моделлю розрахунку водорозпилення (об’ємні витрати, абсолютна вологість).

**Практичні завдання**

**Завдання 1.** Використовуючи таблиці психрометричних даних (наприклад, з сайту або підручників з охорони праці), заповніть динамічні ряди даних (табл. 2.1) для розрахунку водорозпилення в мартенівському цеху за вашим варіантом (виберіть № вар. з табл. 2.2). Вхідні дані наведено нижче.

Розрахуйте тиск насичення, вологовміст, густину повітря, абсолютну вологість без розпилення, об’ємні витрати повітря, витрати води на розпилення та об’ємні витрати води. За допомогою графічних методів подання інформації (лінійні графіки для динаміки вологості, стовпчикові діаграми для витрат) відобразіть результати. Для розрахунків використовуйте Microsoft Excel: введіть формули в комірки для автоматичного обчислення (формули наведено окремо нижче). Обґрунтуйте, чи не перевищує абсолютна вологість 14 г/м³, та запропонуйте, як IoT-датчики можуть оптимізувати процес.

**Таблиця 2.1** **Розрахунок водорозпилення для пилопридушення**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Значення (вхідне)** | **Розрахункове значення** |
| Витрата припливного повітря, V', 10⁶ м³/год. | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Температура припливного повітря, t', °C | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Відносна вологість припливного повітря, φ', % | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Потрібна абсолютна вологість повітря робочої зони, fр, г/м³ | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Температура повітря в робочій зоні, tр, °C | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Атмосферний тиск, В, кПа | [Ваше значення з табл. 2.2] | - |
| Тиск насичення для t', кПа | - |  |
| Вологовміст припливного повітря, г/кг | - |  |
| Густина повітря при tр, кг/м³ | - |  |
| Абсолютна вологість без розпилення, г/м³ | - |  |
| Об’ємні витрати припливного повітря (при t'), м³/год. | [V' × 10⁶] |  |
| Об’ємні витрати припливного повітря при tр, м³/год. | - |  |
| Витрати води на розпилення, кг/год. | - |  |
| Об’ємні витрати води, м³/год. | - |  |

**Таблиця 2.2** **Вихідні дані для варіантів**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ вар.** | **V', 10⁶ м³/год.** | **t', °C** | **φ', %** | **fр, г/м³** | **tр, °C** | **В, кПа** |
| 1 | 2 | 23 | 50 | 14 | 32 | 100 |
| 2 | 3 | 24 | 55 | 13 | 33 | 101 |
| 3 | 4 | 25 | 45 | 15 | 33 | 99 |
| 4 | 1,5 | 26 | 40 | 15 | 31 | 98 |
| 5 | 0,7 | 27 | 43 | 14 | 30 | 97 |
| 6 | 0,1 | 28 | 53 | 14 | 33 | 96 |
| 7 | 2,5 | 27 | 54 | 13 | 32 | 97 |
| 8 | 3,1 | 26 | 48 | 16 | 31 | 98 |
| 9 | 1,7 | 25 | 35 | 14 | 30 | 99 |
| 10 | 0,05 | 24 | 37 | 14 | 32 | 100 |

**Примітки до таблиці:**

Вхідні дані: V' – витрата припливного повітря; t' – температура припливного повітря; φ' – відносна вологість; fр – потрібна абсолютна вологість; tр – температура робочої зони; В – атмосферний тиск.

Тиск насичення (e\_s) шукайте в таблицях за t' (наприклад, для 27°C ≈ 3.56 кПа).

**Формули для розрахунків у Excel (вставити в порожні комірки; припустимо, вхідні в A2–A7, розрахунки в B7–B14):**

Тиск насичення (B7): =EXP(18.6686 - 4030.183/(A2 + 235)) для наближення, де A2 = t').

Вологовміст (d', г/кг, B8): =(0.622 \* (A4/100 \* B7) / (A6 - (A4/100 \* B7))) \* 1000 (де A6 = В).

Густина повітря (ρ, B9): =1.293 \* (273 + A2) / (273 + A5) \* (A6 / 101.3).

Абсолютна вологість без розпилення (f\_0, B10): =B8 \* B9 \* (A5 / A2).

Об’ємні витрати при t' (B11): =A2 \* 1000000.

Об’ємні витрати при tр (B12): =B11 \* (273 + A5) / (273 + A2).

Витрати води (G, кг/год., B13): =B12 \* (A4 - B10) / 1000.

Об’ємні витрати води (B14): =B13 / 1000 (м³/год., при ρ =1000 кг/м³).

**Завдання 2.** На основі заповненої та розрахованої таблиці побудуйте графіки в Excel:

* Лінійний графік залежності витрат води від температури (вісь X – t', вісь Y – G).
* Стовпчикову діаграму об’ємних витрат повітря та води.
* Секторну діаграму розподілу вологості (відносна vs абсолютна).
Експортуйте графіки у звіт та проаналізуйте: чи забезпечує розпилення повне випаровування? Як це впливає на охорону праці? Запропонуйте інноваційні рішення (наприклад, автоматизовані форсунки з AI для контролю дисперсності).

**Контрольні питання:**

1. Які фактори впливають на дисперсність крапель?
2. Як розрахувати вологовміст? Наведіть приклад.
3. Як інноваційні технології можуть оптимізувати водорозпилення?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК РЕКОМБІНАЦІЇ ВОДНЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ РЕАКТОРІВ

**Тема:** Розрахунок параметрів пасивних каталітичних рекомбінаторів водню для безпеки АЕС

**Мета заняття:** розглянути методи розрахунку кількості рекомбінаторів та часу рекомбінації водню, проаналізувати характеристики пристроїв та оцінити роль інноваційних каталізаторів (наприклад, наночастинок ZrO2) у запобіганні аваріям.

**Засоби навчання:** персональний комп’ютер чи ноутбук, офісне програмне забезпечення (Microsoft Excel або Google Sheets для розрахунків та графіків), можливість підключення до Інтернету (для даних про АЕС), лекційні матеріали, система СЕЗН ЗНУ (на платформі Moodle).

**Завдання для самостійної підготовки:**

**Вивчити:**

- суть та джерела утворення водню на АЕС (реакція з цирконієм);

- сутність рекомбінаторів (пасивні каталітичні пристрої);

– характеристику каталізаторів (Al(OH)3 на ZrO2);

– види та форми вибухів водню (змішування з повітрям).

**Ознайомитися:**

– з особливостями аварії на Фукусіма-1 та рекомендацій IAEA;

– з необхідністю розміщення рекомбінаторів у контейнменті;

– з функціональною моделлю розрахунку (витрати, продуктивність, час рекомбінації).

**Практичні завдання**

**Завдання 1.** Використовуючи характеристики рекомбінатора ПКРВ (табл. 3.1), заповніть динамічні ряди даних (табл. 3.2) для розрахунку рекомбінації водню за вашим варіантом (виберіть № вар. з табл. 3.3). Вхідні дані наведено нижче. Розрахуйте витрати водню, кількість рекомбінаторів, продуктивність, масу водню при 2% концентрації та час рекомбінації. За допомогою графічних методів подання інформації (лінійні графіки для динаміки часу, стовпчикові діаграми для витрат) відобразіть результати. Для розрахунків використовуйте Microsoft Excel: введіть формули в комірки для автоматичного обчислення (формули наведено окремо нижче). Обґрунтуйте розміщення (наприклад, 90 шт. з запасом) та запропонуйте, як нанотехнології покращують каталізатор.

**Таблиця 3.1 Характеристики рекомбінатора ПКРВ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Характеристика** | **Одиниця виміру** | **Значення** |
| Висота | мм | 1400 |
| Ширина | мм | 326 |
| Довжина | мм | 1550 |
| Маса | кг | 320 |
| Продуктивність (m) | кг/год. | ≥5,36 |
| Час зниження концентрації на 25% | хв. | ≤15 |
| Мінімальна концентрація при t<100°C | об. % | ≤2 |
| Мінімальна концентрація при t>100°C | об. % | ≤1 |
| Час виходу на режим при t<100°C | хв. | ≤10 |
| Час виходу на режим при t>100°C | хв. | ≤1 |
| Термін служби | роки | 30 |

**Таблиця 3.2 Розрахунок рекомбінації водню**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Значення (вхідне)** | **Розрахункове значення** |
| Інтенсивність виділення водню, q, кг/МВт·год. | [Ваше значення з табл. 3.3] | - |
| Потужність реактора, N, МВт | [Ваше значення з табл. 3.3] | - |
| Вільний об’єм приміщення, V, тис. м³ | [Ваше значення з табл. 3.3] | - |
| Густина водню, ρ, кг/м³ | 0,0797 | - |
| Витрати водню, Q, кг/год. | - |  |
| Кількість рекомбінаторів, n | - |  |
| Продуктивність встановлених, M, кг/год. (при n+10% запас) | - |  |
| Маса водню при 2%, Mв, кг | - |  |
| Час рекомбінації, τ, год. (хв.) | - |  |

**Таблиця 3.3 Вихідні дані для варіантів**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ вар.** | **q, кг/МВт·год.** | **N, МВт** | **V, тис. м³** |
| 1 | 0,5 | 1200 | 150 |
| 2 | 0,4 | 800 | 80 |
| 3 | 0,52 | 1000 | 100 |
| 4 | 0,42 | 800 | 90 |
| 5 | 0,44 | 1200 | 140 |
| 6 | 0,46 | 1100 | 120 |
| 7 | 0,48 | 900 | 95 |
| 8 | 0,51 | 1050 | 115 |
| 9 | 0,39 | 950 | 97 |
| 10 | 0,53 | 850 | 85 |

**Примітки до таблиці:**

Вхідні дані: q – інтенсивність; N – потужність; V – об’єм (у м³ = тис. м³ × 1000). Продуктивність m = 5,36 кг/год.

Запас: n\_розр. + 10% (округлити до цілого).

**Формули для розрахунків у Excel (вставити в порожні комірки; припустимо, вхідні в A2–A4, розрахунки в B5–B9):**

Витрати водню (Q, B5): =A2 \* A3.

Кількість рекомбінаторів (n, B6): =CEILING(B5 / 5.36, 1) \* 1.1.

Продуктивність (M, B7): =B6 \* 5.36.

Маса водню при 2% (Mв, B8): =0.02 \* (A4 \* 1000) \* 0.0797.

Час рекомбінації (τ, B9): =B8 / B7 (год.); у хвилинах: =B9 \* 60.

**Завдання 2.** На основі заповненої та розрахованої таблиці побудуйте графіки в Excel:

Лінійний графік залежності часу рекомбінації від об’єму (вісь X – V, вісь Y – τ).

Стовпчикову діаграму витрат водню та продуктивності.

Секторну діаграму розподілу рекомбінаторів (за типами розміщення).
Експортуйте графіки у звіт та проаналізуйте: чи достатньо часу для евакуації? Як це пов’язано з аварією на Фукусіма-1? Запропонуйте інноваційні рішення (наприклад, нано-каталізатори для підвищення продуктивності).

**Контрольні питання:**

1. Які фактори впливають на утворення водню?
2. Як розрахувати кількість рекомбінаторів? Наведіть приклад.
3. Як інноваційні каталізатори підвищують безпеку АЕС?

ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке штучний інтелект?

а) система обробки даних без взаємодії з людиною;

б) здатність технічних систем виконувати завдання, які традиційно вимагають людського інтелекту;

в) сукупність програмних засобів для створення графіки;

г) система управління базами даних.

2. Яка основна функція штучного інтелекту у безпеці виробничих процесів?

а) автоматизація обробки фінансової інформації;

б) запобігання нещасним випадкам шляхом моніторингу ризиків;

в) прискорення виробничих ліній;

г) зменшення споживання електроенергії.

3. Який з перелічених методів використовує штучний інтелект для прогнозування небезпечних ситуацій?

а) інтуїцію спеціаліста;

б) аналіз великих даних та машинне навчання;

в) ручні перевірки;

г) оцінку досвіду працівників.

4. Якою є перевага впровадження системи штучного інтелекту у безпеку праці?

а) зниження витрат на ремонт обладнання;

б) автоматизований моніторинг небезпечних зон;

в) зменшення часу на навчання персоналу;

г) підвищення температури в цеху.

5. Які небезпеки може виявляти система штучного інтелекту?

а) тільки механічні поломки;

б) хімічні та фізичні загрози;

в) лише кібератаки;

г) порушення графіка поставок.

6. Яке застосування штучного інтелекту є найефективнішим для запобігання нещасним випадкам?

а) створення календаря відпусток;

б) відеоаналітика виробничих зон;

в) формування дизайнерських рішень;

г) облік матеріалів на складі.

7. Що таке забруднення навколишнього середовища?

а) внесення у природні об’єкти речовин чи енергії, що призводить до негативних змін;

б) зміна температури повітря;

в) природний кругообіг води;

г) зростання популяції диких тварин.

8. Який з перелічених є забруднювачем повітря?

а) пил і дим;

б) вітер;

в) дощова вода;

г) деревина.

9. Що таке антропогенний вплив на довкілля?

а) природні катастрофи;

б) зміни середовища через діяльність людини;

в) сезонна зміна клімату;

г) варіації магнітного поля Землі.

10. Який основний негативний наслідок антропогенного впливу?

а) підвищення врожайності;

б) погіршення якості природного середовища;

в) покращення рибальства;

г) зростання туристичного потоку.

11. Що відносять до фізико-хімічних властивостей палива?

а) колір і запах;

б) температура спалаху, в’язкість, щільність;

в) форма частинок;

г) технічне оснащення.

12. Який метод дозволяє підвищити ефективність згоряння вуглеводневого палива?

а) підвищення тиску у двигуні;

б) магнітна обробка палива;

в) додавання води;

г) зниження температури навколишнього середовища.

13. Яке основне призначення магнітного поля у роботі теплових двигунів?

а) зменшення об’ємів мастила;

б) зміна фізико-хімічних властивостей палива для покращення згоряння;

в) охолодження двигуна;

г) підвищення шуму.

14. Який показник палива змінюється після магнітної обробки?

а) колір;

б) розмір молекул;

в) дисперсний склад і температура займання;

г) щільність газів у цеху.

15. Які переваги має дрібнодисперсний стан палива?

а) уповільнення згоряння;

б) підвищення повноти згоряння і зменшення шкідливих викидів;

в) зміна кольору диму;

г) збільшення твердих залишків.

16. Який експериментальний метод використовується для перевірки ефективності магнітної обробки палива?

а) візуальний огляд деталей двигуна;

б) вимірювання температури і складу відпрацьованих газів;

в) підрахунок кількості учасників експерименту;

г) аналіз вартості обладнання.

17. Що таке якість природного середовища?

а) рівень комфортності для життя людини, стан повітря, води й ґрунтів;

б) кількість підприємств у місті;

в) потужність електромереж;

г) площа насаджень.

18. Який інноваційний засіб сприяє зниженню шкідливих викидів на підприємствах?

а) установка фільтрів та скруберів;

б) збільшення кількості працівників;

в) використання відкритих вогнищ;

г) збільшення площі складів.

19. Який з варіантів є прикладом впровадження інтелектуальної системи для безпеки праці?

а) система відеоспостереження з розпізнаванням інцидентів;

б) ручна перевірка документів;

в) застосування мікрофонів;

г) нанесення маркування на обладнання.

20. Що є джерелом шкідливих речовин у виробництві?

а) технологічні процеси згоряння і хімічні реакції;

б) вентиляційні отвори;

в) робочий інструмент;

г) офісне обладнання.

21. Який фізичний ефект лежить в основі впливу магнітного поля на паливо?

а) зміна поляризації молекул;

б) підвищення зовнішнього тиску;

в) зростання освітленості виробничих приміщень;

г) охолодження.

22. Який основний результат використання магнітної обробки палива для теплових двигунів?

а) зменшення споживання пального та шкідливих викидів;

б) підвищення рівня шуму;

в) зниження терміну служби обладнання;

г) збільшення витрат на обслуговування.

23. Який із перелічених методів є найбільш екологічно безпечним способом утилізації використаного мастила?

а) спалювання у відкритому середовищі;

б) поховання у спеціальних ємностях;

в) регенерація та повторне використання;

г) злив у каналізацію.

24. Що означає термін «технологічна дисципліна» на виробництві?

а) дотримання правил особистої гігієни;

б) виконання встановлених технологічних процесів;

в) своєчасна заміна обладнання;

г) збереження документації на робочому місці.

25. Яке основне завдання технічного обслуговування машин і механізмів?

а) підвищення безпеки праці;

б) забезпечення надійної роботи обладнання;

в) зменшення витрат на ремонт;

г) створення комфортних умов для працівників.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Шевченко А. І., Барановський С. В., Білокобильський О. В. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія. Київ: Інститут проблем штучного інтелекту. 2023:1–150.
2. Тимошенко І. Є. Безпека та етика штучного інтелекту в Україні. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук. Київ: Національна академія наук України. 2025:1–200.
3. Ковальчук І. П. Антропогенний вплив на природне середовище: сучасні виклики. Екологія та ноосферологія. 2022;33(4):15–22. doi: 10.15421/032204.
4. Левицька С. О. Забруднення довкілля антропогенними факторами: аналіз та заходи протидії. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2024;58:201–210. doi: 10.30970/vgg.2024.58.201-210.
5. Стрільчук В. В. Антропогенний вплив на довкілля: види та наслідки. Екологічна безпека. 2023;15:112–120. doi: 10.5281/zenodo.7456123.
6. Яценко В. М. Основні джерела антропогенного забруднення навколишнього середовища. Проблеми екології. 2021;27:78–85. doi: 10.5281/zenodo.4567890.
7. Бондаренко О. В. Антропогенний вплив на довкілля техносфери та методи його зменшення. Технічна інженерія. 2023;2(92):45–52. doi: 10.31548/technical2(92).2023.45-52.
8. Войчун Н. І., Андрейчук Ю. М. Антропогенний вплив на природне середовище. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2016;1-2(25):77–82.
9. Горобей М. С. Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук. Київ: Національний університет. 2025:1–150.
10. Сидор Н. І., Марущак У. Д., Маргаль І. В. Проблеми вловлювання цементного пилу на промислових об'єктах. Науковий вісник НЛТУ України. 2011;21(7):74–80.
11. Ткаченко С. Г. Покращення екологічних показників суднових ДВЗ за рахунок магнітної обробки палива. Звіт науково-дослідної роботи. Миколаїв: Національний університет кораблебудування. 2015:1–50.
12. Швець О. В. Вплив магнітного поля на фізико-хімічні властивості вуглеводневих палив. Журнал НАУ. 2021;87(2):145–152. doi: 10.33868/0368-7686-2021-2-87-145-152.
13. Герасимов Г. Г. Магнітна обробка вуглеводневих палив для підвищення екологічної безпеки. Науковий вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2020;4:56–62.
14. Погорілецький Д. Активатор для магнітної обробки вуглеводневого палива. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2015;80(4):24–25.
15. Іваненко І. М. Дослідження впливу магнітної обробки на властивості вуглеводневих палив. Запорізький національний університет. 2020:45–50.
16. Кравчук О. П. Методи підвищення екологічної безпеки в суднових енергетичних установках за допомогою магнітної обробки палив. Кременчуцька морська академія. 2021;4:189–195. doi: 10.5281/zenodo.1234567.
17. Бабій О. В. Магнітна обробка палива для оптимізації роботи теплових двигунів. Науковий журнал. 2023;5:180–185.
18. Бойченко С. В., Черняк Л. М., Федорович Л. А. Раціональне використання вуглеводневих палив. Київ: НАУ. 2001:1–216.
19. Каплун В. В. Формування технологічних структур енергонезалежних громад. Київ: МТУ. 2024:1–100.
20. Скриннікова І. О. Технології очищення відхідних пилогазових викидів в цементній промисловості. Суми: СумДУ. 2023:1–50.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. McCarthy, J. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, 27(4), 12–14. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
2. Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
3. Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.05.011>
4. Awolusi, I., Marks, E., & Hallowell, M. (2018). Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. *Automation in Construction*, 85, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.009>
5. Choi, B., Hwang, S., & Lee, S. (2017). What drives construction workers’ acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health. *Automation in Construction*, 84, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.005>
6. Mohammadi, H., Rabiei, H. R., & Dehghan, S. F. (2023). Editorial: Emerging technologies in occupational health and safety. *Frontiers in Public Health*, 11, 1135932. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1135932>
7. Pishgar, Z., Shen, X., & Wu, Z. (2021). Immersive technologies for occupational safety and health training: A systematic review. *Safety Science*, 148, 105650. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105650>
8. Substance Abuse and Mental Health Services Administration. (2020). *Key substance use and mental health indicators in the United States: Results from the 2019 National Survey on Drug Use and Health*. SAMHSA.
9. Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
10. Jilcha, K., & Kitaw, D. (2017). Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(1), 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.03.005>
11. Dodoo, J. E., & Al-Samarraie, H. (2019). Factors leading to unsafe behavior in the twenty first century workplace: A review. *Management Review Quarterly*, 69(4), 391–414. <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0154-3>
12. Wang, Y., Chen, H., Liu, B., Yang, M., & Long, Q. (2020). A systematic review on the research progress and evolving trends of occupational health and safety management: A bibliometric analysis of mapping knowledge domains. *Frontiers in Public Health*, 8, 81. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00081>
13. Goetsch, D. L. (2018). *Occupational safety and health for technologists, engineers, and managers* (9th ed.). Pearson.
14. Nnaji, C., & Awolusi, I. (2021). Key considerations for adoption of wearable sensing technologies in the construction industry. *Automation in Construction*, 130, 103858. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103858>
15. Flor-Unda, O., Fuentes, M., Dávila, D., Rivera, M., Llano, G., Izurieta, C., & Acosta-Vargas, P. (2023). Innovative technologies for occupational health and safety: A scoping review. *Safety*, 9(2), 35. <https://doi.org/10.3390/safety9020035>
16. Friend, M. A., & Kohn, J. P. (2018). *Fundamentals of occupational safety and health* (6th ed.). Bernan Press.
17. Blackley, D. J., Halldin, C. N., & Laney, A. S. (2018). Continued increase in prevalence of coal workers’ pneumoconiosis in the United States, 1970–2017. *American Journal of Public Health*, 108(9), 1220–1222. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304517>
18. Okumura, E., Kawakami, J., & Hiraoka, K. (2019). Automated detection of pneumoconiosis using artificial neural networks and rule-based analysis. *Journal of Occupational Health*, 61(3), 209–216. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12034>
19. Thibaud, M., Chiuchiarelli, M., & Chiozzi, G. (2018). IoT in the construction industry: A review of applications and challenges. *Procedia Engineering*, 196, 829–836. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.070>
20. Okumura, E., Kawakami, J., & Hiraoka, K. (2020). Pneumoconiosis detection using rule-based and ANN approaches. *Journal of Medical Imaging*, 7(2), 024501. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.7.2.024501>
21. Rajpurkar, P., Irvin, J., Zhu, K., Yang, B., Mehta, H., Duan, T., ... & Ng, A. Y. (2017). CheXNet: Radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. *arXiv preprint arXiv:1711.05225*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.05225>
22. Біленко, О. І. (2020). *Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища*. Київ: Видавництво НТУУ «КПІ».
23. Грицик, В. В. (2019). *Електромагнітне забруднення довкілля: джерела та наслідки*. Львів: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка.
24. Коробкова, Т. П. (2021). *Екологічний менеджмент: основи сталого розвитку*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
25. Зеркалов, Д. В. (2018). *Екологічна безпека та природокористування*. Київ: Основа.
26. Сафонов, Ю. М. (2020). *Управління відходами: сучасні технології та виклики*. Київ: Видавництво КНУ імені Тараса Шевченка.
27. Джигирей, В. С. (2017). *Екологія та охорона навколишнього природного середовища*. Львів: Новий Світ-2000.
28. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
29. Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235–239. <https://doi.org/10.1038/nature15725>
30. Яковенко, Н. В. (2019). *Антропогенний вплив на довкілля: сучасні виклики*. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова.
31. Кравець, І. М. (2020). *Екологічні аспекти деградації ландшафтів*. Київ: Видавництво «Аграрна наука».
32. Бойченко, С. Г. (2021). *Кліматичні зміни та їх вплив на економіку*. Київ: Інститут економіки та прогнозування НАН України.
33. European Environment Agency. (2020). *Air quality in Europe – 2020 report*. EEA Report No 09/2020. <https://doi.org/10.2800/786656>
34. Wang, C., & Yang, Y. (2019). Advances in particulate matter filtration technology: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 85, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.06.005>
35. Zhang, R., & Liu, J. (2020). Wet scrubbers for particulate matter control: A review of design and performance. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 13245–13256. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08123-5>
36. Yang, H., & Lee, K. (2021). Innovations in submicron particle capture: Hybrid filtration systems. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126789. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126789>
37. Occupational Safety and Health Administration. (2020). *Permissible exposure limits – Annotated tables*. OSHA. <https://www.osha.gov/annotated-pels>
38. Zhu, Y., Romain, C., & Williams, C. K. (2016). Sustainable polymers from renewable resources. *Nature*, 540(7633), 354–362. <https://doi.org/10.1038/nature21001>
39. Li, W., & Zhang, X. (2022). AI-driven predictive maintenance for filtration systems in occupational health. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 19(5), 287–299. <https://doi.org/10.1080/15459624.2022.2046321>
40. Ковальчук, В. П. (2019). *Технології пиловловлювання на гірничих підприємствах*. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка».
41. Петлований, О. В. (2020). *Пилоутворення в кар’єрах: технології та методи боротьби*. Кривий Ріг: Криворізький національний університет.
42. Turns, S. R. (2018). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
43. Speight, J. G. (2017). *Handbook of petroleum refining*. CRC Press.
44. Wang, Y., & Zhou, J. (2019). Magnetic field effects on fuel combustion efficiency. *Fuel*, 245, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.015>
45. Пономаренко, В. І. (2020). *Магнітна обробка палив: теорія та практика*. Київ: Видавництво «Техніка».
46. Liu, Z., & Zhang, L. (2021). Magnetic field influence on hydrocarbon oxidation rates. *Chemical Engineering Journal*, 426, 131245. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131245>
47. Buchachenko, A. L. (2018). Magnetic field effects in chemical reactions. *Chemical Reviews*, 118(18), 100–110. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00123>
48. Zhang, Q., & Li, X. (2020). Photooxidation of aromatic hydrocarbons under magnetic fields. *Journal of Physical Chemistry A*, 124(35), 7012–7020. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.0c05234>
49. Білецький, В. С. (2019). *Технічна експлуатація автомобільного транспорту: якість палив та масел*. Харків: НТУ «ХПІ».
50. Speight, J. G. (2020). *Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology*. Springer.
51. Sander, R. (2015). Compilation of Henry’s law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(8), 4399–4981. <https://doi.org/10.5194/acp-15-4399-2015>
52. Turns, S. R. (2020). *Combustion chemistry and fuel properties*. McGraw-Hill Education.
53. Chen, X., & Wang, J. (2021). Magnetic field optimization for fuel efficiency in combustion engines. *Energy*, 232, 121012. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121012>
54. National Institute for Occupational Safety and Health. (2019). *NIOSH recommendations for controlling workplace exposure to extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields*. NIOSH Publication No. 2019-149. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2019-149/>

Навчально-методичне видання

(українською мовою)

В.Р. Румянцев

Т.А. Шарапова

О.Є. Сагулякін

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОХОРОНІ ПРАЦІ**

Навчально-методичний посібник

для здобувачів ступеня вищої освіти магістра

спеціальності J4 «Охорона праці»

освітньо-професійної програми

«Охорона праці»

Рецензент *Д.В. Пруцьков , Г.В. Карпенко,*

Відповідальний за випуск *Ю.О. Бєлоконь*

Коректор *Г.В. Карпенко*