

ТЕМА 7. ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА AI-АНАЛІТИКИ

Сутність та значення прогнозування у сфері охорони праці; використання цифрових моделей для імітації виробничих процесів і потенційних аварійних ситуацій; роль штучного інтелекту та машинного навчання у виявленні закономірностей і трендів, що передують надзвичайним подіям; методи аналітики великих даних (Big Data) для підвищення точності прогнозів; практичні приклади застосування AI-рішень у промислових галузях для попередження аварій і зниження рівня виробничих ризиків.

7.1. Сутність та значення прогнозування у сфері охорони праці

Сутність прогнозування

Прогнозування у сфері охорони праці — це **систематичний процес аналізу даних і моделювання можливих сценаріїв розвитку подій**, який дозволяє заздалегідь визначати ймовірність виникнення небезпечних ситуацій, аварій чи травматизму. Його ключовим завданням є **перехід від реактивного управління (ліквідація наслідків) до проактивного (попередження інцидентів)**.

Прогнозування базується на:

- аналізі історичних даних про аварії та нещасні випадки;
- використанні сенсорних даних у режимі реального часу;
- цифровому моделюванні виробничих процесів;
- застосуванні методів статистики, машинного навчання та Big

Data-аналітики.

Значення прогнозування для охорони праці

1. Зниження рівня травматизму і смертності.

Завдяки прогнозним моделям можна заздалегідь ідентифікувати небезпеки (наприклад, підвищення концентрації газів, критичний рівень шуму, перевтому працівника) і запобігти інциденту.

2. Підвищення ефективності управління ризиками.

Прогнозування дозволяє розставляти пріоритети у заходах безпеки: ресурси спрямовуються на ті зони, де ймовірність аварії найбільша. Це робить систему управління більш раціональною й економічно обґрунтованою.

3. Скорочення фінансових втрат.

Аварії й простої обладнання призводять до значних збитків. Завдяки

прогнозуванню можна вчасно провести технічне обслуговування або заміну компонентів, що знижує витрати на ліквідацію наслідків.

4. **Підвищення готовності до надзвичайних ситуацій.** Прогнозні сценарії дозволяють перевіряти ефективність планів евакуації, навчати персонал діям у кризових умовах і забезпечувати стійкість підприємства навіть у разі непередбачуваних подій.

5. **Соціально-репутаційний ефект.** Підприємства, які впроваджують сучасні системи прогнозування, демонструють високий рівень відповідальності перед працівниками та суспільством. Це підвищує їхню конкурентоспроможність, довіру інвесторів і привабливість для кваліфікованих кадрів.

Приклади

- На шахтах застосовуються прогностичні моделі метаноутворення, які дозволяють попереджати вибухи ще до виходу концентрацій газу на критичний рівень.
- У хімічній промисловості прогнозування допомагає виявляти поєднання факторів (тиск, температура, склад сумішей), що можуть призвести до аварії.
- У будівництві алгоритми прогнозують перевтому працівників за біометричними показниками, запобігаючи нещасним випадкам.

7.2. Використання цифрових моделей для імітації виробничих процесів і потенційних аварійних ситуацій

Сутність і значення цифрового моделювання

Цифрове моделювання у сфері охорони праці — це метод відтворення реальних виробничих процесів, обладнання та середовища у віртуальному просторі. Його мета — **імітувати роботу систем у різних сценаріях**, включаючи аварійні ситуації, та оцінювати потенційні наслідки для людей, обладнання й довкілля.

Такі моделі є основою для **прогнозування ризиків, розробки стратегій реагування та тренування персоналу.**

Класифікація цифрових моделей у сфері охорони праці

1. **Математичні моделі.** Використовують рівняння імовірностей, статистику, фізичні закони для

опису поведінки систем. Наприклад, розрахунок розповсюдження диму при пожежі у замкненому приміщенні.

2. Імітаційні моделі (Simulation models).

Відтворюють виробничі процеси у спеціальних програмних середовищах. Використовуються для моделювання роботи обладнання, потоків працівників чи транспортних систем.

3. Цифрові двійники (Digital Twins).

Віртуальні копії реальних об'єктів, які синхронізуються з ними у режимі реального часу через IoT-сенсори. Це найсучасніший підхід, що дозволяє бачити «живу» картину виробництва та прогнозувати відмови обладнання.

4. VR/AR-моделі.

Дають змогу імітувати аварії у віртуальній чи доповненій реальності. Такі моделі особливо корисні для навчання персоналу — відпрацювання евакуації, реагування на вибухи, пожежі чи обвал конструкцій.

Мета застосування цифрових моделей

- **Прогнозування розвитку аварій.** Наприклад, як поширюватиметься вибухова хвиля залежно від розташування обладнання.
- **Тестування систем безпеки.** Чи витримають аварійні клапани перевищення тиску? Чи встигне вентиляція видалити небезпечні гази?
- **Оцінка економічних наслідків.** Визначення потенційних втрат від аварій і порівняння їх із витратами на профілактику.
- **Планування евакуації.** Моделювання поведінки працівників у кризових умовах, пошук вузьких місць у маршрутах евакуації.
- **Навчання персоналу.** Симуляції аварій дозволяють тренувати людей без ризику для життя.

Приклади з галузей

1. Хімічна промисловість

Використовуються CFD-моделі (Computational Fluid Dynamics) для прогнозування поширення хімічних хмар у разі витоку аміаку або хлору. Це допомагає визначити зони евакуації та планувати локалізацію аварій.

2. Металургія

Цифрові двійники доменних печей дозволяють аналізувати ризики вибуху газових сумішей і прогнозувати, коли необхідно проводити технічне обслуговування.

3. Енергетика

Імітаційні моделі турбін електростанцій прогнозують перегрів підшипників або вібраційні аномалії, що можуть призвести до аварійних зупинок.

4. Будівництво

BIM-моделі (Building Information Modeling) застосовуються для прогнозування обвалів конструкцій, аналізу стійкості ґрунтів, безпечності монтажних робіт.

5. Гірничодобувна промисловість

Моделі вентиляції шахт дозволяють прогнозувати розповсюдження метану та вуглекислого газу, що дає змогу завчасно змінювати режими роботи вентиляторів.

Переваги цифрового моделювання

- **Безпека:** дослідження аварійних сценаріїв без ризику для людей.
- **Швидкість і економічність:** віртуальні експерименти дешевші за реальні випробування.
- **Прогнозування ризиків:** точніша оцінка імовірностей інцидентів.
- **Оптимізація ресурсів:** інвестиції спрямовуються на найбільш критичні ділянки.
- **Навчання та тренінги:** VR-сценарії допомагають готувати персонал до дій у надзвичайних ситуаціях.

Отже, цифрові моделі — це **ключовий інструмент у прогнозуванні надзвичайних подій**, який поєднує точність математичних розрахунків, гнучкість імітаційних симуляцій та інтерактивність VR/AR-рішень. Їх застосування дозволяє значно знизити ризики, зекономити ресурси та підвищити готовність підприємств до кризових ситуацій.

7.3. Роль штучного інтелекту та машинного навчання у прогнозуванні надзвичайних подій

Сутність застосування AI та ML

Штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML) у сфері охорони праці дозволяють **аналізувати великі масиви даних у режимі реального часу** та виявляти закономірності, які людина не здатна помітити. На відміну від традиційних статистичних методів, AI здатний **навчатись на даних**, постійно покращуючи точність прогнозів.

Мета використання:

- завчасне виявлення **передаварійних станів обладнання**,
- прогнозування **ймовірності інцидентів** з урахуванням сотень факторів,
- підтримка прийняття управлінських рішень щодо **профілактики аварій**.

Основні алгоритми та методи

1. **Аналіз часових рядів (Time Series Analysis).**
Використовується для моніторингу сенсорних даних (температура, тиск, вібрація). Алгоритми прогнозують відхилення від норми, які можуть передувати аварії.
2. **Нейронні мережі (Deep Learning).**
Моделі глибокого навчання застосовуються для розпізнавання складних патернів: наприклад, аналіз вібраційного сигналу турбіни для прогнозування відмови.
3. **Методи класифікації (Decision Trees, Random Forest).**
Використовуються для розподілу ситуацій на «безпечні» та «небезпечні», а також для оцінки рівня ризику.
4. **Методи кластеризації (K-Means, DBSCAN).**
Допомагають групувати подібні за характеристиками інциденти та виявляти «аномальні» події, що можуть свідчити про новий тип небезпеки.
5. **Аномалія-детекція (Anomaly Detection).**
AI-системи визначають нетипову поведінку обладнання або працівників (різкі стрибки температури, падіння тиску, зміни в біометричних даних працівників).

Приклади застосування у промисловості

1. **Енергетика**
Алгоритми машинного навчання аналізують дані з тисяч сенсорів на електростанціях. Це дозволяє виявити комбінації факторів (перегрів,

вібрація, зміни навантаження), що передують аварійній зупинці турбіни.

2. Хімічна промисловість

Нейромережі прогнозують критичні стани реакторів, аналізуючи температуру, тиск і хімічний склад сумішей. Це дозволяє уникнути вибухів чи витоків токсичних речовин.

3. Гірничодобувна галузь

AI-системи обробляють показники газоаналізаторів у шахтах. На основі аналізу вмісту метану, вологості та швидкості повітряного потоку моделі прогнозують небезпечні концентрації за кілька годин до їхнього досягнення.

4. Будівництво

Носимі пристрої з вбудованими алгоритмами ML прогнозують перевтому чи небезпечні фізіологічні стани робітників (підвищений пульс, низький рівень кисню в крові). Це дає змогу знизити кількість нещасних випадків.

5. Транспорт і логістика

AI застосовується для аналізу поведінки водіїв (виявлення сонливості, відволікання уваги). Камери та сенсори у кабінах формують попередження, що знижує ризик аварій.

Переваги використання AI у прогнозуванні

- **Висока точність:** алгоритми здатні враховувати десятки та сотні факторів одночасно.
- **Адаптивність:** моделі навчаються на нових даних і постійно вдосконалюються.
- **Швидкість реагування:** системи виявляють загрозу у реальному часі та генерують попередження.
- **Зниження людського фактора:** менше залежності від суб'єктивної оцінки працівників.
- **Можливість прогнозування рідкісних подій:** AI може розпізнати патерни навіть у випадках, коли аварії трапляються нечасто.

7.4. Методи аналітики великих даних (Big Data) для прогнозування у сфері охорони праці

Сутність Big Data-аналітики

Big Data у сфері охорони праці — це обробка та аналіз великих масивів інформації, що надходять із сенсорів, IoT-пристроїв, виробничих систем і навіть зовнішніх джерел (метеодані, дані про стан довкілля). Мета полягає

у виявленні прихованих закономірностей, прогнозуванні аварійних ситуацій і підтримці прийняття рішень.

Big Data-аналітика відрізняється **масштабністю, швидкістю та різноманітністю даних**: обробляються одночасно показники температури, вібрацій, газового середовища, дані про стан працівників, журнали технічного обслуговування тощо.

Основні методи аналітики Big Data

1. **Аналіз часових рядів (Time Series Analysis).**
Використовується для виявлення трендів і відхилень у даних сенсорів. Наприклад, прогнозування росту температури у двигуні, що може призвести до аварії.
2. **Статистичне моделювання.**
Методи регресії та багатофакторного аналізу допомагають визначати, які фактори найбільше впливають на ризик аварії.
3. **Машинне навчання на великих вибірках.**
Алгоритми класифікації, кластеризації та нейронні мережі дозволяють автоматично виявляти аномальні патерни у даних (наприклад, різке зростання концентрації газу).
4. **Predictive analytics (прогностична аналітика).**
Використання моделей прогнозування для визначення ймовірності інцидентів у майбутньому. Наприклад, система може прогнозувати, що через 10 годин роботи компресор вийде з ладу з імовірністю 80%.
5. **Stream analytics (аналітика потокових даних).**
Аналіз даних у реальному часі з тисяч датчиків одночасно. Це критично для шахт, хімічних заводів та енергетики, де секунди можуть вирішувати долю інциденту.
6. **Аналіз текстових і неструктурованих даних.**
Використовується для аналізу звітів про аварії, журналів обслуговування, відгуків працівників. Це дозволяє знайти додаткові закономірності, які не видно у сенсорних даних.

Інструменти Big Data-аналітики у сфері охорони праці

- **Hadoop, Spark** — для обробки великих даних у кластерах.
- **Apache Kafka, Flink** — для потокової обробки сенсорних даних у реальному часі.
- **AWS IoT Analytics, Azure Machine Learning, Google BigQuery** — хмарні платформи для інтеграції IoT і прогнозування.

- **Tableau, Power BI** — для візуалізації результатів і створення інтерактивних дашбордів.

Приклади використання

1. Металургія.

Система аналізує показники температури, складу газів і вібрацій агрегатів. Алгоритми Big Data виявили, що поєднання певних умов передують аварійним зупинкам печей. Це дозволило скоротити простої на 18%.

2. Енергетика.

Big Data-аналітика на електростанціях використовує дані з понад 20 000 сенсорів. Система попереджає операторів про ризик перегріву турбін за кілька годин до відмови.

3. Гірничодобувна промисловість.

Потокова аналітика даних про концентрацію метану в шахтах дозволяє у реальному часі попереджати про небезпеку вибуху.

4. Будівництво.

Дані з носимих пристроїв будівельників (пульс, рівень кисню, фізичне навантаження) обробляються у хмарній системі. Алгоритм прогнозує ризик перевтоми та теплового удару.

Переваги Big Data-аналітики у прогнозуванні

- **Висока точність прогнозів** завдяки обробці мільйонів показників.
- **Раннє попередження аварійних ситуацій** у режимі реального часу.
- **Комплексний підхід:** враховуються як технічні фактори (стан обладнання), так і людські (стан працівників).
- **Можливість сценарного аналізу:** прогноз наслідків різних дій чи бездіяльності.
- **Підтримка прийняття рішень керівництвом.**

Отже, Big Data-аналітика є **необхідною складовою сучасних систем охорони праці**, оскільки вона дозволяє обробляти величезні потоки інформації, виявляти приховані закономірності та створювати точні прогнози надзвичайних подій.

7.5. Практичні приклади застосування AI та Big Data у промислових галузях

1. Енергетика

- **AI-прогнозування відмов турбін.**

На великих електростанціях встановлено десятки тисяч сенсорів, що збирають дані про вібрації, температуру, тиск і електричні навантаження. Машинне навчання аналізує часові ряди та виявляє аномалії, які передують відмовам турбін чи генераторів.

Результат: зменшення аварійних зупинок на 25–30%, скорочення витрат на ремонт.

- **Big Data у вітроенергетиці.**

Прогностичні моделі аналізують дані про швидкість вітру, температуру й навантаження лопатей. Це дозволяє прогнозувати знос і уникати руйнування конструкцій.

2. Хімічна промисловість

- **Моделювання аварій у хімреакторах.**

Алгоритми AI аналізують температуру, тиск та склад хімічних сумішей у реакторах. Якщо дані відхиляються від нормальних патернів, система автоматично запускає сигнал попередження.

Результат: вчасне попередження аварій, зниження ризику вибухів і витоків токсичних речовин.

- **CFD + AI для прогнозування поширення газових хмар.**

Big Data-аналітика у поєднанні з цифровими моделями допомагає визначати зони ураження у разі витoku аміаку чи хлору та коригувати план евакуації.

3. Гірничодобувна промисловість

- **Прогнозування вибухів метану.**

AI аналізує дані з тисяч газоаналізаторів у шахтах: концентрацію метану, кисню, вологість, швидкість вентиляції. Алгоритм визначає комбінації факторів, що передують критичному рівню газу.

Результат: попередження вибухів та своєчасна евакуація персоналу.

- **Big Data у моніторингу стійкості гірських масивів.**

Аналіз сейсмічних коливань дозволяє прогнозувати зсуви та обвали в шахтах і кар'єрах.

4. Металургія та машинобудування

- **AI-діагностика доменних печей.**

Алгоритми глибинного навчання аналізують показники температури

та складу газів. Це дозволяє прогнозувати аварійні ситуації, коли піч працює в небезпечному режимі.

- **Прогнозування відмов обладнання.**

Вібраційні сенсори + машинне навчання виявляють мікродефекти у підшипниках чи редукторах за кілька тижнів до реальної поломки.

5. Будівництво

- **Wearables для працівників.**

Носимі пристрої відстежують пульс, рівень кисню, температуру тіла. AI-алгоритм прогнозує перевтому або тепловий удар.

Результат: зниження випадків втрати працездатності на 20–25%.

- **Big Data у BIM-моделях.**

Інтеграція датчиків у будівельні конструкції дозволяє прогнозувати ризики обвалів або деформацій у режимі реального часу.

6. Транспорт і логістика

- **AI для моніторингу водіїв.**

Камери та сенсори у кабінах вантажівок аналізують поведінку водіїв: позіхання, закриття очей, частоту моргання. У разі сонливості чи втрати концентрації система подає сигнал попередження.

- **Big Data у прогнозуванні аварій на дорогах.**

Алгоритми враховують погоду, стан дорожнього покриття, завантаженість транспортних вузлів, що дозволяє передбачати зони підвищеної небезпеки.

Загальний ефект застосування AI та Big Data

- зниження виробничих ризиків на 20–40%;
- скорочення фінансових втрат від аварій і простоїв;
- підвищення рівня довіри до підприємства з боку працівників, інвесторів і партнерів;
- створення проактивної системи охорони праці, яка працює на випередження.

Таким чином, AI та Big Data є ключовими драйверами цифрової трансформації охорони праці. Вони дозволяють не тільки реагувати на надзвичайні ситуації, але й передбачати їх і запобігати їм.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність прогнозування надзвичайних подій у сфері охорони праці?
2. Яке значення має прогнозування для переходу від реактивного до проактивного управління ризиками?
3. Які види цифрових моделей застосовуються для імітації виробничих процесів і аварійних ситуацій?
4. Що таке цифровий двійник (Digital Twin) і яку роль він відіграє в охороні праці?
5. Які основні алгоритми машинного навчання використовуються для прогнозування небезпечних ситуацій?
6. У чому полягає принцип роботи методів виявлення аномалій (Anomaly Detection) у промислових даних?
7. Які особливості має аналітика великих даних (Big Data) у сфері охорони праці?
8. Наведіть приклади застосування AI та Big Data для попередження аварій у хімічній чи енергетичній промисловості.
9. Які переваги має використання VR/AR-симуляцій для підготовки персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях?
10. Який соціально-економічний ефект може дати підприємству впровадження систем прогнозування надзвичайних подій?