


УДК 622.002.5, 622; 621.8  
№ держреєстрації 0122U201186

Товариство з обмеженою відповідальністю  
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
69008, м. Запоріжжя вул. Південне шосе 80

ЗАТВЕРДЖУЮ

проректор з науково-дослідної роботи  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»



  
Володимир КУХАР  
«29» червня 2023 року

### ЗВІТ

### ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

«Дослідження мехатронічних систем гірничих машин з урахуванням різних горно-геологічних умов та розробка методології організації технічного сервіса гірничо –транспортного обладнання»  
(остаточний)

Науковий керівник, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_










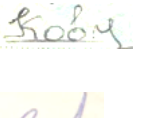
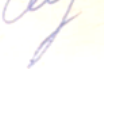



Ольга ДЗЕРЖИНСЬКА  
«28» червня 2023 року

2023

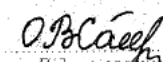
Рукопис закінчено «27» червня 2023 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»», протокол № 10 від «29» червня 2023 року

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, кан. техн. наук, доцент		ДЗЕРЖИНСЬКА Ольга (вступ, розділ 1)
Відповідальний виконавець, кан. техн. наук, доцент		КРУПКО Ігор (вступ, розділ 2)
Виконавець, д-р техн. наук, професор		НАЛОБІНА Олена (вступ, розділ 3)
Виконавець, кан. техн. наук, доцент		ГОЛОТЮК Микола (вступ, розділ 4)
Виконавець, кан. техн. наук, доцент		БУНДЗА Олег (вступ, розділ 5)
Виконавець, магістрант		БОЙКО Валерій (вступ, розділ 6)
Виконавець, магістрант		БОРИСОВ Сергій (вступ, розділ 7)
Виконавець, магістрант		КАШУБА Юрій (вступ, розділ 7)
Виконавець, магістрант		КОВАЛЕВЕЦЬ Роман (вступ, розділ 8)
Виконавець, магістрант		МИРНА Наталя (вступ, розділ 8)
Виконавець, магістрант		ПОЛОВИНКИН Владислав (вступ, розділ 9)
Виконавець, магістрант		РИБНИЦЬКИЙ Максим (вступ, розділ 9)

Виконавець, магістрант



САМОХІН Олесь

(вступ, розділ 10)

Виконавець, магістрант



ХАРЧЕНКО Іван

(вступ, розділ 11)

Виконавець, магістрант



ЧЕРЬОМУШКІН Вадим

(вступ, розділ 12)

Виконавець, магістрант



ЩЕРБИНА Олексій

(вступ, розділ 12)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 70 с., 42 джерел.

**Ключові слова:** МЕХАТРОНІ СИСТЕМИ, ГІРНИЧІ МАШИНИ, ЗЕМЛЕРИЙНА, ТРАНСПОРТУЮЧА ТЕХНІКА, ЕКСКАВАТОРИ.

Об'єкт дослідження - мехатроні системи гірничих машин з урахуванням різних горно-геологічних умов.

**Мета** - підвищення ефективності робіт мехатроніх систем гірничих машин з урахуванням різних горно-геологічних умов на основі використання нових алгоритмів та технічних засобів управління.

**Предмет дослідження** - теоретичні дослідження на математичних моделях з використанням математичного пакета Maple, експериментальні дослідження на лабораторних установках з використанням тензOMETРИЧНОЇ апаратури.

**Результати та їх новизна:** проведено пошук шляхів удосконалення технологічної підготовки виробництва; досліджено вплив структури і параметрів виконавчих механізмів гусеничних і колісних рушіїв на енергоємність робочого процесу кранів та екскаваторів; обґрунтовано напрямки дослідження впливу конструктивних параметрів структурних схем приводів на енергоємність робочих процесів та проведено пошук по підвищенню технічного рівня підйомно-транспортних, будівельних і гірничих машин; розроблено математичних моделей таких механізмів, та методик їх теоретичних і експериментальних досліджень; розроблено засоби підвищення точної міцності зварних металевих конструкції підйомно-транспортних, будівельних і гірничих машин.

**Інформація щодо впровадження** – при розробці нових машин і механізмів на Метінвест Холдінг».

**Рекомендації щодо використання** – Результати роботи можуть бути використані іншими розробниками і дослідниками гірничої техніки.

**Сфера застосування:** Машинобудування.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ЛИЖ КРОКУЮЧИХ МАШИН З РІЗНИМИ ТИПАМИ ҐРУНТУ	12
1.1 Вдосконалення конструкції опорної поверхні лиж крокуючих машин	12
1.2 Вплив відстані між опорними елементами лижі крокуючих машин	14
1.3 Розробка математичної моделі процесу взаємодії опорної поверхні лиж механізму пересування крокуючих машин з різними типами ґрунту	17
2 КОНЕКЦІОНІСТСЬКОГО ПІДХОДУ ТА ЙОГО МІСЦЕ В ТЕОРІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ. ПЛАНУВАННЯ РУХУ	19
3 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	32
4 ОСОБЛИВІСТЬ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ	39
5 АГРЕГАТ ДЛЯ ГЛИБОКОГО РИХЛЕННЯ ҐРУНТУ	42
6 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ	44
7 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕТАЛОТОРГУЮЧОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТУ КОЛІС ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ	46
8 ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	49
9 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШАРОВОГО	53

МЛИНА ПОДРІБНЮЮЧИМ МАТЕРІАЛОМ (КУЛЯМИ)	
10 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛУ НА КОНВЕЄРНОМУ ТРАНСПОРТІ	55
11 ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ГРЕЙФЕРНИХ МОСТОВИХ КРАНІВ ШЛЯХОМ МЕХАТРОННИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	57
12 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИБРАКОВКИ ТА ЗАМІНИ ОБПАЛЮВАЛЬНИХ ВІЗКІВ НА ОБПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНИ LURGI	59
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63
ДОДАТОК	70

## ВСТУП

Гірничі машини є матеріальною базою комплексної механізації найбільш складних і трудомістких просторових об'єктів у всіх галузях господарського комплексу України, а саме в гірській, будівельній, машинобудівній промисловості, сільському господарстві, транспорті і т.д. У зв'язку з швидкими темпами розвитку науково-технічного прогресу в зазначених галузях потрібна розробка нових конструкцій механізмів і машин, постійне вдосконалення існуючих кранів, конвеєрів, екскаваторів та інших спеціальних будівельних машин і устаткування, з темпами відповідними розвитку галузей в яких працюють зазначені машини. Вирішення цих завдань можливе лише при постійному вдосконаленні методик розрахунку машин, методів дослідження і проектування.

При створенні сучасних мехатронних гірських машин із високими функціонально-параметричними характеристиками розробники зіткнулися з необхідністю враховувати низку специфічних особливостей та вимог, які, як правило, не характерні для тих галузей машинобудування, де мехатронний підхід до проектування є вже традиційним (наприклад, робототехніка, авіакосмічна галузь, точна комп'ютерна механіка, приладобудування тощо). Виникає потреба узагальнення цих вимог з метою їх комплексного обліку при проектування. Основні особливості гірських машин, що надають вплив на можливість їх трансформації в мехатронні системи, наведено нижче.

1) Постійне зростання енергоозброєності та розширення використання регульованого приводу при незмінних габаритах, що визначається гірничо-геологічними умовами. Привід сучасних гірських машин, як правило, є багаторуховим (до п'яти і більше електродвигунів, у тому числі багатошвидкісних та регульованих), що вимагає розробки спеціальних алгоритмів управління для забезпечення їх узгодженої роботи, включаючи

послідовності їх запуску, контролю та регулювання швидкості обертання та режимів роботи. Варто зазначити, що використання регульованого багаторухового приводу є, на наш погляд, якісним кроком на шляху від немахатронних до мехатронних гірських машин.

2) Випадковий характер змінюються в широкому діапазоні та обумовлених фізико-механічними властивостями порід, що руйнуються навантажень у основних підсистемах машин. Це вимагає великих перевантажувальних здібностей приводів та значних запасів міцності.

Проблема посилюється формуванням значних динамічних навантажень на машини (у тому числі високі екстремні навантаження в перехідних режимах), які поряд зі специфічними умовами роботи визначаються неможливістю застосовувати загальноприйняті методи під час проектування низки вузлів.

Наприклад, при проектуванні зубчастих передач через обмеження за габаритами застосовуються зубчасті колеса з великими модулями  $i$ , як наслідок, низькими коефіцієнтами перекриття (близько одиниці), що провокують динамічні навантаження. Позначені протиріччя можуть бути вирішені за рахунок застосування швидкодіючого регульованого приводу та електронних компонентів - спільно знижують динамічні навантаження та здійснюють захисне відключення в аварійні ситуації.

3) Рухливість, нестационарність становища всіх машин видобувного комплексу, просторова неоднозначність взаємного розташування бурового верстата, екскаватора та транспорту, що має значною мірою випадковий характер. Це створює великі труднощі в частини створення комплексів, які працюють у автоматичному режимі, тобто. реалізують ідею малолюдних технологій видобутку. Рішення проблеми лежить у площині оснащення гірських машин інтелектуальними сенсорами, ідентифікуючими їх взаємне положення та положення щодо забою, спеціальними комп'ютерними системами та програмним забезпеченням.

4) Тяжкий режим роботи машин, що характеризується високою відносною тривалістю включення ПВ при великій кількості пусків та реверсів та при стохастичному характері навантаження. У зв'язку з цим актуальною стає проблема зниження тепловиділення, яка має вирішуватися за рахунок нових конструктивних рішень, застосування нових матеріалів, суттєвого підвищення технологічного рівня виробництва.

5) Обмежена потужність кар'єрних мереж електропостачання, рухливість і віддаленість струмоприймачів призводить до суттєвих труднощам при запуску машин і значним втрат крутних моментів приводу при роботі в встановлених режимах, що безпосередньо пов'язане з продуктивністю.

6) Системи управління гірничими машинами, як правило, є розподіленими, що в умовах зростаючих обсягів інформації, циркулюючої між пунктами управління, створює суттєві. Проблеми у забезпеченні необхідної швидкості передачі, а, отже, реалізації оптимальних алгоритмів управління при існуючих лініях зв'язку. Проблема ускладнюється відсутністю надійного фізичного каналу зв'язку (провідного, оптичного тощо), що працює в умовах великих механічних навантажень та значних електричних та електромагнітних перешкод.

7) Широке застосування в гірських машинах гідравлічних систем, працюючих у надзвичайно забруднених умовах, вимагає особливого уваги до процесів фільтрації робочої рідини, чистота якої безпосередньо визначає надійність функціонування систем управління. Таким чином, виникає проблема безперервного моніторингу якості робочої рідини в гідросистемі, постійної підтримки її рівня та чистоти.

8) Важливим параметром для високонавантажених гірських машин є гарантований ресурс, виражений через обсяг виконаної роботи, наприклад, кількість видобутої чи перевезеної гірничої маси. У зв'язку з цим, на стадії виконання проекту необхідно на моделях визначати ресурс окремих

компонент та модуля в цілому з урахуванням їх взаємодії та прогнозних циклів навантаження в конкретних горно-геологічних умовах. У процесі експлуатації потрібний постійний моніторинг витраченого та залишкового ресурсів. Великі втрати часу при проведенні ремонтних робіт і, отже, втрати в виконанні встановлених завдань вимагають підвищення рівня діагностики машин. Моніторинг технічного стану машин необхідно вирішувати за рахунок установки у характерних точках (вузлах), які визначаються при віртуальних, а потім підтверджуються при експериментальних випробуваннях, спеціальних інтелектуальних сенсорів, об'єднаних у локальну інформаційну мережу.

9) У сучасних умовах зросла важливість та актуальність ергономічних проблем, пов'язаних з обмеженими психофізіологічними можливостями людини-оператора під час роботи.

10) Робота гірничих машин з високими навантаженнями у складних гірничо-геологічних умовах суттєво ускладнила вирішення питань безпеки та забезпечення прийнятних санітарно-гігієнічних умов праці робітників.

12) З процесу створення нових гірських машин на даний час Практично випала стадія дослідно-промислових випробувань. У зв'язку з цим перші зразки створеної машини повинні мати високу надійність та продуктивність, тобто. конструкторські та заводські помилки та похибки мають бути зведені до мінімуму ще на стадії проектування. Тому багаторазово зростає важливість створення та використання математичних моделей, які мають забезпечити проведення віртуальних випробувань створюваних машин на ранніх стадіях їхнього проектування.

Досвід проектування та експлуатації екскаваторів показав, що вибір параметрів робочого обладнання та систем керування машин на основі аналізу їх існуючих схем з подальшим опрацюванням кількох варіантів дуже трудомісткий, дорогий, вимагає великих часових витрат і часто має суб'єктивний характер. За результатами проектування розробникам зазвичай

невідомо, наскільки прийняті параметри відрізняються від найбільш вигідних з точки зору зменшення маси та рівномірності розподілу навантажень на елементи робочих органів машини. Створення ж діючих моделей чи випробувальних стендів для проведення порівняльного аналізу варіантів проєктованих машин є дуже дорогим та малоефективним засобом з точки зору витрат часу та коштів.

Мехатронна технологія змінює підходи до проєктування системи управління та машини в цілому. Головним завданням стає організація комплексу компонентів, що гармонічно взаємодіють. Це означає необхідність об'єктно-орієнтованого підходу до проєктування всіх компонентів.

# 1 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ЛИЖ КРОКУЮЧИХ МАШИН З РІЗНИМИ ТИПАМИ ҐРУНТУ

## 1.1 Вдосконалення конструкції опорної поверхні лиж крокуючих машин

Запропонована конструкція опорного елемента лижі крокуючих машин, являє собою, рівномірно розташовані опорні елементи на нижній опорній поверхні лижі, кожен опорний елемент виконаний у вигляді ламаної лінії, що нагадує за своєю будовою «шеврон»; при цьому вершини кутів опорних елементів спрямовані в бік руху і розташовані на поздовжній осі лижі, крім того на похилій опорній поверхні лижі встановлені як мінімум два опорних елементів [1].

Завдяки тому, що в лижі крокуючих машин кожен опорний елемент виконаний у вигляді ламаної лінії і при цьому вершини кутів опорних елементів спрямовані в бік руху і розташовані на поздовжній осі лижі, забезпечено збільшення лінії контакту кожного опорного елемента з ґрунтом і площі деформації ґрунту опорного елемента та сили опору зсуву ґрунту, підвищена ефективність роботи крокуючих машин.

В даній роботі розглянуто експлуатацію крокуючих машин під час руху по різним типам ґрунту.

У разі руху крокуючих кранів по щільному ґрунту (рис. 1.1), під дією зусиль, що передаються двигуном механізму пересування, відбувається притискання опорної поверхні 2 кожної лижі в ґрунт і занурення в ґрунт опорних елементів лижі 5 крокуючих машин. За рахунок виконання опорних елементів 5 шевронної форми, і напрямом вершин кутів кожного опорного елемента лижі в сторону руху крану, збільшена загальна довжина лінії контакту

опорних елементів з ґрунтом, і як наслідок, збільшено площу ґрунту, що мнеться опорними елементами лижі крокуючих кранів.



Рисунок 1.1 – Робота лижі крокуючих машин під час руху по щільному ґрунту

Внаслідок збільшення площі ґрунту, деформованого опорними елементами лижі, збільшуються тангенціальні сили опору. Це забезпечило надійне утримання кожної лижі нерухомою щодо ґрунту, усунуло її ковзання і збільшило ефективність роботи механізму переміщення крокуючого крану.

За рахунок того, що опорні елементи лижі 5 крокуючого крану встановлені симетрично до поздовжньої осі лижі, усунуті виникнення додаткових бічних зусиль, що діють на лизу та елементи механізму пересування.

У разі якщо крокуючий кран по розпушеному ґрунту або слабкому (рис.1.2) ґрунті.

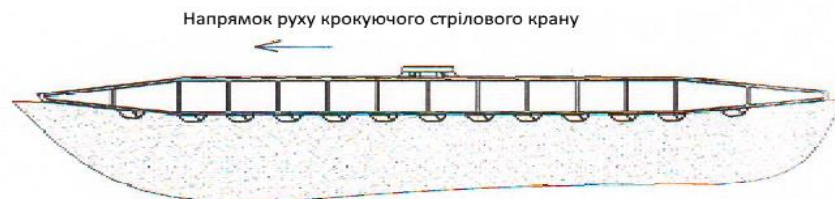


Рисунок 1.2 – Робота лижі крокуючих машин крокуючого механізму під час руху по розпушеному ґрунту

Під дією зусиль від механізму пересування, як і в першому випадку, відбувається притискання опорної поверхні 2 кожної лижі до поверхні ґрунту.

При цьому відбувається ущільнення розпушеного шару ґрунту і занурення лиж на певну глибину. В наслідок цього, під час сходження в роботу вступають не тільки опорна поверхня 2, але і похилі поверхні 3 і 4. Водночас з ущільненням ґрунту відбувається також занурення в ґрунт опорних елементів лижі 5 крокуючого крану, розташованих на вищезазначених поверхнях. Наслідком цього є утворення тангенціальних сил опору, що діють на кожен опорний елемент лижі крокуючої крану [2].

Таким чином, під час крокування по розпушеному або слабкого ґрунту, у створенні сил опору ковзанню лиж щодо ґрунту беруть участь всі опорні поверхні 2, 3 і 4 і всі опорні елементи 5 кожної лижі. Це підвищує ефективність роботи механізму пересування і ефективність переміщення крокуючих машин по розпушеному і слабкому ґрунту.

## 1.2 Вплив відстані між опорними елементами лижі крокуючих машин

Необхідна відстань між опорними елементами лижі крокуючих машин прямолінійної форми визначається за формулою:

$$l = 2b_{oe} \cdot h_{oe} \cdot \tan \beta \cdot \tan \rho, \quad (1.1)$$

де  $b_{oe}$  – ширина опорного елемента,  $h_{oe}$  – висота опорного елемента,  $\beta$  – кут взаємодії опорного елемента з ґрунтом,  $\rho$  – кут зовнішнього тертя опорного елемента з ґрунтом.

Необхідна відстань між опорними елементами лижі крокуючих машин шевронної форми визначається за формулою:

$$l = 4b_{oe} \cdot h_{oe} \cdot \tan \beta \cdot \tan \varphi \tan \rho, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  - кут опорного елемента шевронною форми.

Таким чином, відстань між опорними елементами впливає на тягово-зчіпні властивості крокуючих кранів. Внаслідок розрахунку відстані між опорними елементами лижі крокуючих машин в 1,45-1,58 раза можна підвищити коефіцієнт зчеплення лижі крокуючого рушія з ґрунтом.

У роботах [3-6] наведені результати експериментальних досліджень впливу висоти опорного елемента на коефіцієнт зчеплення лижі з ґрунтом при тиску 60...196 кПа на суглинок. Досліди показують, що коефіцієнт зчеплення при збільшенні висоти опорних елементів зростає, але зі збільшенням вологості, інтенсивність зростання коефіцієнта зчеплення знижується (рис.1.3).

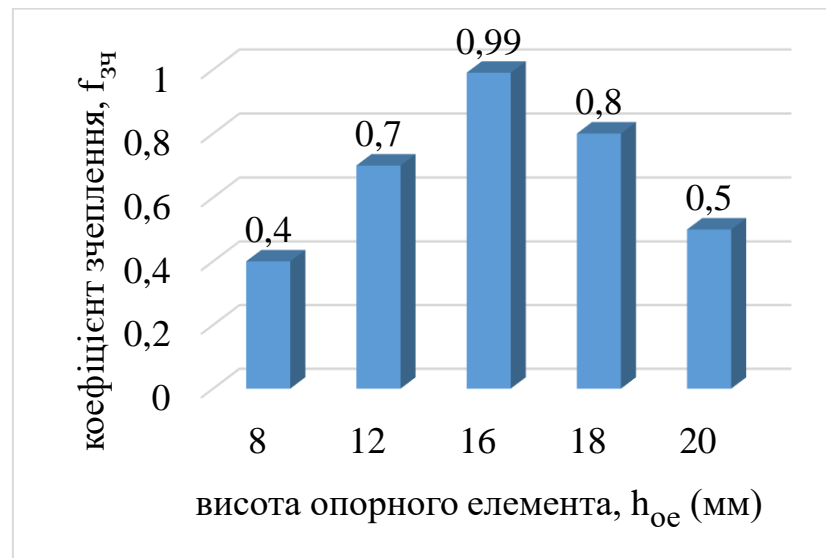


Рисунок 1.3 - Залежності висоти опорного елемента від зчеплення лижі з супіском

Встановлено, що коефіцієнт зчеплення підвищується при зниженні нормального тиску на ґрунт за рахунок зміни лінії взаємодії опорного елемента з ґрунтом. Це припущення підтверджується на підставі спрощеної залежності рівняння Кулона [7].

$$f_3 = \frac{c}{p} + \tan \rho,$$

де  $f_3$  – коефіцієнт зчеплення,  $c$  – зчеплення, яке визначається міцністю структурних зв'язків ґрунту [8],  $\tan \rho$  – коефіцієнт, який залежить від тертя частинок ґрунту в площині зсуву.

Для теоретичного визначення коефіцієнта зчеплення лиж крокуючого рушія з ґрунтом різними авторами отримано аналітичні залежності.

У роботах А.Г. Лобова, М.А. Ленгера, М. Шефлера [9] сила зчеплення опорної поверхні з ґрунтом розглянута як складова двох сил: поздовжньої реакції ґрунту на опорні елементи і сили тертя лиж з ґрунтом.

$$f_3 = \frac{cF(1+n)L}{2N} \delta + \mu,$$

де  $N$  — нормальне навантаження;  $F$  — площа опорної поверхні опорного елемента,  $n$  — число опорних елементів на опорній поверхні лижі;  $\mu$  — коефіцієнт тертя ковзання лижі по ґрунту;  $c$  - коефіцієнт, що характеризує деформування ґрунту під опорною поверхнею лижі.

Сила зчеплення опорної поверхні лижі:

$$F_3 = f \cdot N + b \sum_{i=1}^{i=n} P_{ioe} \cdot h_i, \quad (1.3)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя лижі по ґрунту;  $N$  – нормальне навантаження на лижу;  $b$  – ширина лижі;  $n$  - число опорних елементів на поверхні лижі;

$P_{ioe} = \frac{N}{S_k}$  – тиск опорних елементів лижі на ґрунт;  $h_i$  – висота опорного елемента лижі.

Але дані розрахунки не відображають залежності коефіцієнту зчеплення від форми і відстані між опорними елементами. Однак, ці розрахунки можуть бути використані для теоретичної побудови кривої буксування існуючих крокуючих підйомно- транспортних машин.

для сипких ґрунтів:

$$f_3 = \left( \frac{c_{\text{нр}}}{p} + \tan \rho_2 \right) \left( L + \frac{h_{\text{оe}}}{b} \right) k_0.$$

де  $k_0, k_1, k_2$  – коефіцієнти, що заносять від буксування, конструктивних параметрів рушія  $L, b$  і властивостей ґрунту,  $c, c_{\text{нр}}, \rho_1, \rho_2$  – зчеплення і кути тертя опорної поверхні з непорушеною структурою ґрунту і навантаженої при зсуві.

Визначення впливу форми опорного елемента на коефіцієнт зчеплення для сипких ґрунтів

$$f_3 = \frac{c_{\text{нр}} F(1+n)L}{2N} \delta + \mu \cdot k_0. \quad (1.4)$$

Визначення впливу форми опорного елемента на коефіцієнт зчеплення для дисперсних ґрунтів

$$f_3 = \frac{cF(1+n)L}{2N} \delta + \mu \cdot k_2. \quad (1.5)$$

### **1.3 Розробка математичної моделі процесу взаємодії опорної поверхні лиж механізму пересування крокуючих машин з різними типами ґрунту**

При побудові математичної моделі взаємодії лижі з ґрунтом прийняті такі припущення:

- Розглядається термін часу переміщення крокуючих машин, за який відбувається встановлення лижі на ґрунт і її рух по ґрунту (зрушення).

- Навантаження від крану приходить в точку з'єднання кулястої опори з лижею і приймається за постійну.

- Взаємодія опорного елемента лижі крокуючих машин з ґрунтом розглядається в умовах плоскої задачі.

- Тиск від крану на ґрунт розподілено рівномірно по опорній поверхні лижі.

- Опорний елемент лижі повністю занурено в ґрунт.

- Зрушення проводиться з малою швидкістю, причому швидкість не впливає на зусилля зсуву.

- Ґрунт - зв'язкова середина з кутом тертя і зчепленням  $c$ . Для сипучих ґрунтів при пересуванні крану напруження зсуву збільшуються.

Для зв'язних ґрунтів початкова напруження зсуву наростає більш інтенсивно, досягаючи максимуму.

Математична модель процесу взаємодії опорної поверхні лиж механізму пересування крокуючих машин з різними типами ґрунту побудована за допомогою динамічних рівнянь Лагранжа 2-го роду, та мають вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q - \sum F; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_{кр}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_{кр}} = 0, \end{cases} \quad (1.6)$$

де  $T$  – кінетична енергія системи;  $x$  та  $\dot{x}$  горизонтальна координата крокуючих машин та її похідна за часом;  $\varphi_{кр}$  – кут повороту кривошипа;  $Q$  – вектор, узагальнених сил, що діють на систему;  $\sum F$  – загальний опір пересуванню крокуючого крану.

## 2 КОНЕКЦІОНІСТСЬКОГО ПІДХОДУ ТА ЙОГО МІСЦЕ В ТЕОРІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ. ПЛАНУВАННЯ РУХУ

Конекціоністський підхід до побудови систем штучного інтелекту розвинувся на противагу символічному, що є характерним для сучасних моделей знань. В основі конекціоністського підходу лежить спроба безпосереднього моделювання розумової діяльності людського мозку. Відомо, що мозок людини складається з величезної кількості нервових клітин (нейронів), що взаємодіють між собою. Ці "обчислювальні елементи" мозку функціонують набагато повільніше, ніж обчислювальні елементи комп'ютерних систем. Але ефективність людського інтелекту досягається як за рахунок паралельної роботи нейронів, так і за рахунок того, що механізми їх взаємодії були вироблені шляхом тривалої еволюції.

Для багатьох цілей нейрон можна розглядати як елемент з певним критичним значенням. Це означає, що він або ж дає на виході деяку постійну величину, якщо сума його входів досягає певного значення, або ж залишається пасивним.

Мак-Каллок і Піттс довели, що будь-яку обчислювану функцію можна реалізувати за допомогою спеціально організованої мережі ідеальних нейронів, логічні властивості яких з високою достовірністю можна приписати реальному нейрону. Але ця мережа буде мати наступні вади. По-перше, проблема полягає в тому, чи можна знайти якийсь розумний принцип реорганізації мережі, який дозволяв би випадково об'єднаний, спочатку, групі ідеальних нейронів самоорганізовуватись в "обчислювальний пристрій", здатний вирішувати довільну задачу розпізнання. По-друге, потрібно використовувати велику кількість нейронів. Так, модель мурашки потребує використання близько 20000 нейронів, людини — 100 млрд. нейронів, що на практиці неможливо.

Нейрологічна теорія стала також основою системи розпізнавання, яка дістала назву *перцептрон*. В цьому підході основна увага приділялась встановленню характеристик, приписаних фіксованій множині детекторів ознак. Альтернативний підхід розпізнавання зводиться до пошуку "добрих" ознак, на основі яких розпізнавання здійснюється найбільш чітко. Наприклад, перцептрон Розенблатта передавав повідомлення від "ока", яке реалізовувалось системою фотоелементів, в блоки електромеханічних комірок пам'яті, які оцінювали відносні величини електричних сигналів. Ці комірки з'єднувались між собою випадковим чином, створюючи мережу з прямими зв'язками. Зазначимо, що в ній були відсутні зворотні зв'язки між нейроподібними елементами. Перцептрон міг навчатись шляхом спроб і помилок, а також корекцією електричних імпульсів.

Мінським і Пейпертом було математично доведено, що перцептрони не в змозі виконувати багато приписуваних їм функцій, наприклад, розпізнавання частково затулених предметів. Після цього результату розвиток перцептронної теорії призу пинився.

Один з сучасних напрямків створення розумних машин — це розробка *нейрокомп'ютерів*. *Нейрокомп'ютер* — це програмно-технічна система (спеціалізована ЕОМ), яка реалізує деяку формальну модель природної мережі нейронів.

В основу машин п'ятого покоління покладено ідею паралельної обробки інформації в нейроподібних системах. Не зважаючи на те, що електронний процесор працює в тисячі разів швидше, ніж його нейронний еквівалент у мозку, мережі нейронів вирішують багато задач (особливо нечислових) в тисячі раз швидше, ніж електронний процесор.

Причини цього такі:

1) Характер взаємозв'язків між нейронами дозволяє розв'язувати багато задач на основі паралельної обробки;

2) У нейронній мережі пам'ять не локалізована в одному місці (як в послідовних ма шинах), а розподілена по всій структурі. В біологічних системах пам'ять реалізується підсиленням або послабленням зв'язків між нейронами, а не зберіганням двійкових символів;

3) Біологічні мережі реагують не на всі, а тільки на визначені зовнішні подразнення. Кожний нейрон виступає як елемент прийняття рішення і як елемент зберігання інформації. Перевага такої структури — “життєздатність” (вихід з ладу декількох нейронів не приводить до значної зміни даних, що зберігаються, або ж до руйнування всієї системи).

4) Можливість адресації за вмістом (асоціативної пам'яті) є ще однією важливою характеристикою систем з розподіленою пам'яттю (кожний елемент відшукується за його вмістом, а не зберігається в комірці пам'яті з визначеним номером).

В основу зв'язків в нейрокомп'ютерах покладено *принцип асоціацій*. *Асоціативні зв'язки* пронизують все мислення людини. Існує думка [10], що *процеси мислення є не що інше, як розповсюдження певного збудження, як деяка ланцюгова реакція*. Навіть найбільш примітивні процеси навчання принципово залежать від послідовності подій в часі. Це й закладено в природу нейронних систем. Тому їм притаманне реагування тільки на жорстко визначені зовнішні подразнення. Наприклад, домашні тварини "навчаються" ігнорувати повторні несуттєві зовнішні подразнення ("цокання" годинника), але посилюють сприйняття подразнень, які можуть мати серйозні наслідки (звук автомобільних гальм).

Багато дослідників вважає, що майбутнє належить комп'ютерам, які базуються на аналізі зв'язків, а не обробці символів [11]. Мінський говорив, що якщо комп'ютер повинен діяти подібно мозку, тоді й його конструкція повинна бути також подібна до мозку.

Моделі штучних нейронних мереж (ШНМ) і схеми з адресацією за вмістом мають і недоліки. Внаслідок нефіксованої організації вони можуть плутати різні об'єкти. Але це аналогічно звиканню, посиленню чуттєвості до асоціацій, які лежать в основі психічних особливостей людини. Іншими словами, будь-який комп'ютер, який претендує на "розумність" повинен мати такі особливості.

Штучні нейрони, що також називаються нейронними клітинами, вузлами, модулями, моделюють структуру й функції біологічних нейронів. Архітектура й особливості штучних нейронних мереж, утворених нейронами, залежать від конкретних завдань, які мають бути вирішені з їхньою допомогою [12].

Структуру штучного нейрона, запропоновану у [13-14], зображено на рис. 2.1. Вхідними сигналами штучного нейрона є вихідні сигнали інших нейронів, кожний з яких узятий зі своєю вагою, аналогічною до синаптичної сили.

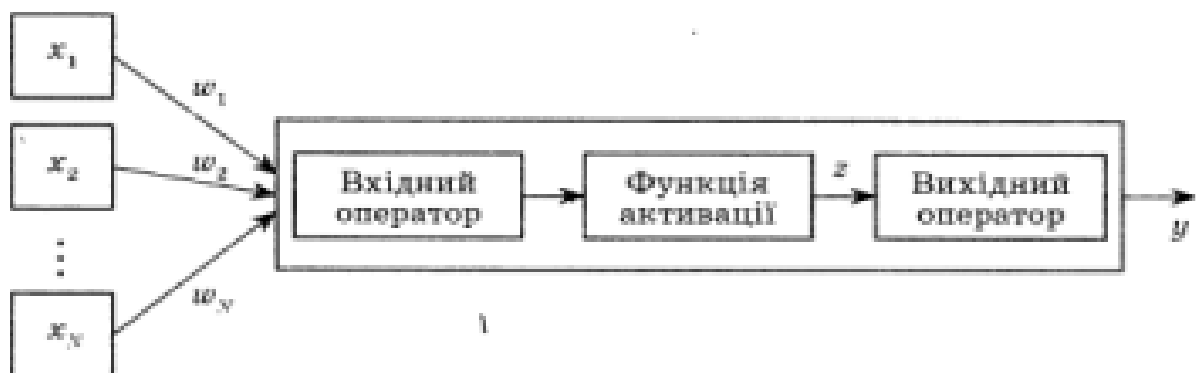


Рисунок 2.1. Структура штучного нейрона

Вхідний оператор перетворює зважені входи й подає їх на оператор активації. Вихідний сигнал нейрона  $y$  являє собою перетворений вихідним оператором вихідний сигнал оператора активації. Таким чином, нелінійний

оператор перетворення вектора вхідних сигналів  $x$  у вихідний сигнал  $y$  може бути записаний у такий спосіб:

Як вже зазначено, вихідний сигнал даного нейрона є вхідним для наступного. Вхідний оператор (вхідна функція) нейрона задає вигляд використовуваного в нейроні перетворення зважених входів. Відмінність гальмуючих входів від збуджувальних відбивається у знаках відповідних ваг.

Функція активації описує правило переходу нейрона, що перебуває в момент часу  $k$  у стані  $z(k)$ , у новий стан  $z(k+1)$  при надходженні вхідних сигналів  $x$

Надалі позначатимемо функцію активації без індексу « $a$ ». Найбільш простими активаційними функціями є:

- лінійна,  $K = \text{const}$ ;
- лінійна біполярна з насиченням

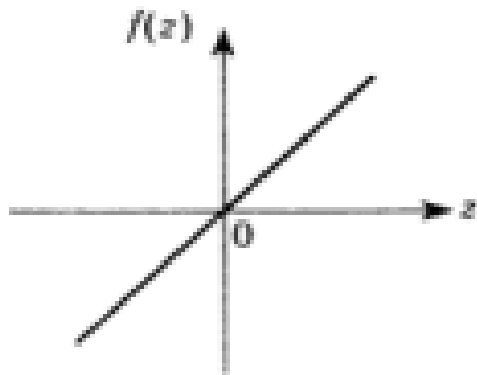


Рисунок. 2.2. Лінійна функція

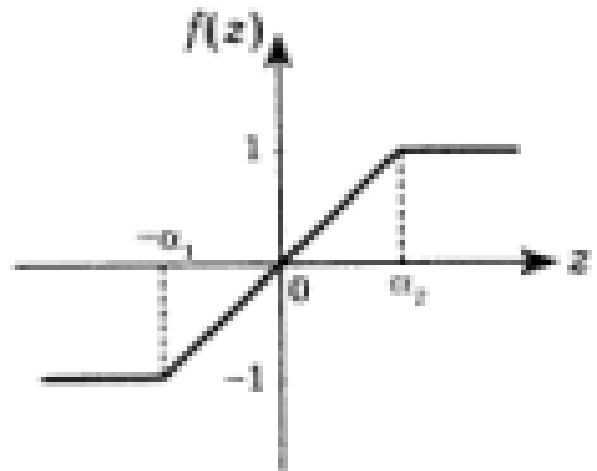


Рисунок 2.3. Лінійна біполярна функція з насиченням

- лінійна уніполярна з насиченням

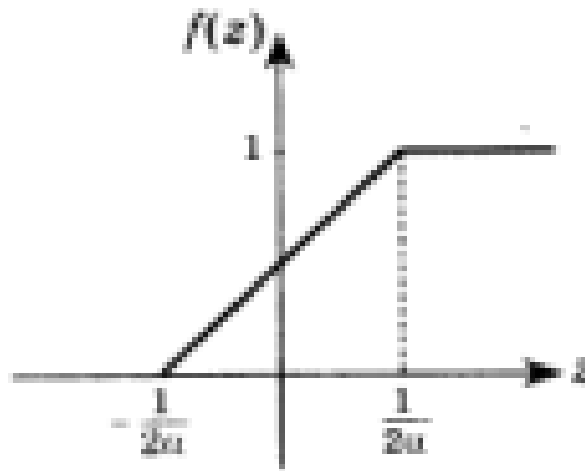


Рисунок 2.4. Лінійна уніполярна функція з насиченням

Незважаючи на те, що лінійні функції є найбільш простими, їхнє застосування обмежене, в основному, найпростішими ШНМ, які не мають у своєму складі прихованих шарів, у яких, крім того, існує лінійна залежність між вхідними й вихідними змінними. Такі мережі мають обмежені можливості. Двошарова лінійна мережа еквівалентна одношаровій з ваговою матрицею, що дорівнює добутку вагових матриць першого й другого шарів. Звідси випливає, що будь-яка багатшарова лінійна мережа може бути замінена еквівалентною одношаровою. Хоча, використання лінійних активаційних функцій не є зайвим у багатшарових ШНМ, для розширення ж можливостей мережі застосовують нелінійні функції активації.

У роботі У. Мак-Каллока і У. Піттса у якості активаційної використовувалася функція Хевісайда — уніполярна гранична функція вигляду.

Різновидом даної функції є біполярна порогова функція.

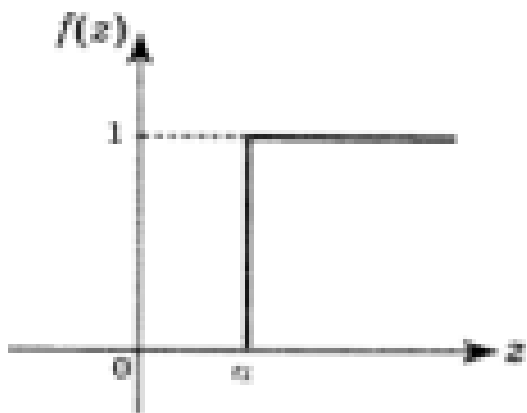


Рисунок 2.5 Уніполярна порогова функція

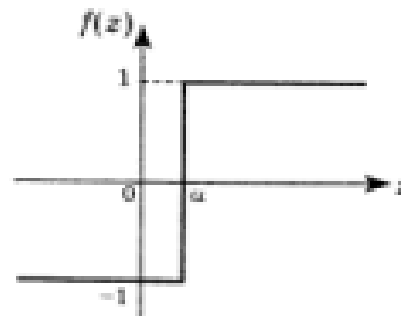


Рисунок 2.6. Біполярна порогова функція

Ці функції активації застосовувалися в основному в класичних ШНМ. При побудові нових структур ШНМ найчастіше доводиться працювати як із самою активаційною функцією, так і з її першою похідною. У цих випадках необхідним є використання як активаційної монотонної диференційованої й обмеженої функції. Особливо важливу роль відіграють такі функції під час моделювання нелінійних залежностей між вхідними й вихідними змінними. Це так звані логістичні, або сигмоїдальні ( $S$ -подібні), функції.

Моделі штучних нейронів залежать від конкретних застосувань. Тому синтез моделі в кожному окремому випадку є нетривіальним завданням.

Формальний штучний нейрон (його називають також нейроном Мак-Каллока Піттса) [6] може бути поданий як нелінійний перетворювач із ваговими коефіцієнтами, які також називаються синаптичними вагами або підсилювачами. Клітина тіла (сома) описується нелінійною обмежувальною або пороговою функцією. Найпростіша модель штучного нейрона додає  $N$  зважених входів і здійснює нелінійне перетворення.

З'єднані між собою нейрони утворюють ШНМ. Таким чином, ШНМ — пара  $(M, V)$ , де  $M$  — множина нейронів;  $V$  — множина зв'язків. Структура

мережі задається у вигляді графа, у якому вершини є нейронами, а ребра являють собою зв'язки (з'єднання).

Кожен нейрон мережі має вхідні ланцюги, причому їхня кількість є довільною для кожного нейрона.

У загальному випадку ШНМ складається з декількох шарів, серед яких обов'язково є вхідний, що отримує зовнішні сигнали, вихідний, що відбиває реакцію нейронів на комбінації вхідних сигналів, і в багат шарових ШНМ — приховані шари (рис. 2.10). Така пошарова організація є аналогом шаруватих структур певних відділів мозку.

Зв'язки між нейронами задаються у вигляді векторів і матриць. Ваги зручно подавати елементами матриці  $[b]$  розмірності  $N \times M$ , де  $N$  — кількість входів;  $M$  — кількість нейронів. Елемент відбиває зв'язок між  $i$ -м й  $j$ -м нейронами. При цьому, якщо

$= 0$  — зв'язок між  $i$ -м й  $j$ -м нейронами відсутній;

$< 0$  — гальмуючий сигнал зв'язок;

$> 0$  — прискорювальний сигнал (збуджувальний) зв'язок.

Залежно від того, чи містять ШНМ зворотні зв'язки, чи ні, розрізняють такі їхні топології:

- ШНМ без зворотних зв'язків (прямого поширення, Feed forward)
- ШНМ зі зворотними зв'язками (зворотного поширення, рекурентні, Feedback)

— з прямими зворотними зв'язками (direct feedback);

— з непрямыми зворотними зв'язками (indirect feedback);

— з латеральними зв'язками (lateral feedback);

— повнозв'язні [15].

ШНМ прямого поширення припускає наявність декількох шарів зі зв'язками між нейронами різних шарів. У мережах першого порядку існують тільки зв'язки між двома сусідніми шарами, тобто між  $i$ -м й  $(i+1)$ -м шарами. У

цьому випадку говорять, що зв'язки ШНМ пошарові. Приклад такої мережі зображено на рис. 2.6. Якщо в мережі цього типу кожен нейрон шару  $i$  пов'язаний з кожним нейроном  $(i+1)$ -го шару, мережа називається повнозв'язною прямого поширення.

У мережах другого порядку поряд із зв'язками між нейронами сусідніх  $i$ -го й  $(i+1)$ -го шарів присутні зв'язки між нейронами шарів  $i$ -го й  $(i+l)$ -го, де  $l > 1$ . Такий зв'язок називається «shortcut».

Зазначимо, що для мереж прямого поширення матриця зв'язків  $W$  є верхньою трикутною матрицею.

Мережі цього типу припускають наявність зворотних зв'язків як між нейронами різних шарів, так і між нейронами одного шару. Використання мереж зі зворотними зв'язками необхідне у процесі вивчення складних динамічних об'єктів, наприклад об'єктів, що змінюють свій стан при надходженні нових вхідних сигналів. Такі ШНМ можуть мати властивості, подібні до короткочасної людської пам'яті.

У ШНМ із прямими зворотними зв'язками на вхід нейрона деякого  $i$ -го шару подається його вихідний сигнал, тобто даний нейрон підсилює або послаблює сигнал, перетворений його активаційною функцією, завдяки чому досягається його граничний активаційний стан.

У ШНМ із непрямими зворотними зв'язками існують зв'язки нейрона  $i$ -го шару з нейронами  $(i-k)$ -го шару  $k > 0$ . При цьому одночасно можуть бути прямі зв'язки цього ж нейрона з нейроном  $(i+l)$ -го шару ( $l > 0$ ). Введення таких зворотних зв'язків необхідно, щоб виділити певну особливо важливу для даної ШНМ область вхідних сигналів.

ШНМ із латеральними зв'язками має зв'язки між нейронами одного шару. Такий тип зворотних зв'язків використовується у тому випадку, якщо тільки один нейрон з даної групи нейронів має бути активним. У цьому випадку на вхід кожного нейрона надходять гальмуючий (послаблюючий,

інгібіторний) сигнал від інших нейронів і звичайно збуджувальний (посилюючий, ексгібіторний) сигнал власного зворотного зв'язку. Нейрон із найбільшою активністю (переможець) придушує інші нейрони. Тому цю топологію називають також топологією мережі «переможець отримує все» (WTA– Net).

У процесі навчання ваги стають такими, що під час надходження вхідних сигналів мережа виробляє відповідні необхідні вихідні сигнали. Розрізняють навчання з учителем і без учителя. Перший тип навчання припускає, що є «учитель», що задає пари, які навчають — для кожного вхідного вектора, що навчає, необхідний вихід мережі. Для кожного вхідного вектора, що навчає, обчислюється вихід мережі, порівнюється з відповідно необхідним, визначається помилка виходу, на основі якої й коректуються ваги. Пари, що навчають, подаються мережі послідовно й ваги уточнюються доти, поки помилка за такими парами не досягне необхідного рівня.

Цей вид навчання неправдоподібний з біологічної точки зору. Дійсно, важко уявити зовнішнього «учителя» мозку, що порівнює реальні й необхідні реакції того, кого навчають, і коригує його поведінку за допомогою негативного зворотного зв'язку. Більш природним є навчання без учителя, коли мережі подаються тільки вектори вхідних сигналів, і мережа сама, використовуючи деякий алгоритм навчання, підстроювала б ваги так, щоб при поданні їй досить близьких вхідних векторів вихідні сигнали були б однаковими. У цьому випадку в процесі навчання виділяються статистичні властивості множини вхідних векторів, що навчають, і відбувається об'єднання близьких (подібних) векторів у класи. Подання мережі вектора з даного класу викликає її певну реакцію, яка до навчання є непередбаченою. Тому в процесі навчання виходи мережі мають трансформуватися в деяку зрозумілу форму. Це не є серйозним обмеженням, оскільки зазвичай

нескладно ідентифікувати зв'язок між вхідними векторами й відповідною реакцією мережі.

Існує ще один вид навчання — з підкріпленням (reinforcement learning), при якому також передбачається наявність учителя, що не підказує, однак, мережі правильної відповіді. Учитель тільки повідомляє, правильно чи неправильно відпрацювала мережа поданий образ. На основі цього мережа корегує свої параметри, збільшуючи значення ваг зв'язків, що правильно реагують на вхідний сигнал, і зменшуючи значення інших ваг.[16]

Сьогодні існує велика кількість алгоритмів навчання. Деякі з них розглядатимуться пізніше, тут же коротко зупинимося на найбільш відомих.

Більшість сучасних алгоритмів навчання вирросло із правила Гебба. Наприкінці 40-х років ХХ ст. років Д. О. Гебб теоретично встановив, що асоціативна пам'ять у біологічних системах викликається процесами, що змінюють зв'язки між нервовими клітинами. Відповідно до установленого їм правила, що називається «правилом Гебба», при одночасній активації (порушенні) двох нейронів синаптична сила (вага їхнього зв'язку) зростає. Таким чином, часто використовувані зв'язки в мережі підсилюються, що пояснює феномен звички й навчання повторенням.

У ШНМ зростання синаптичної сили еквівалентне збільшенню ваги зв'язку між нейронами  $i$  та  $j$  на величину

$$w_{ij} \Delta = \gamma u_i x_j,$$

де  $u_i$  — вихід  $i$ -го нейрона;  $\gamma$  — коефіцієнт, що  $x_j$  — вихід  $i$ -го та вхід  $j$ -го нейронів;  $j$  впливає на швидкість навчання.

Правило Гебба використовується у зв'язках асоціативної пам'яті, а також у деяких інших, заснованих на навчанні без учителя (без

підкріплення). У мережах асоціативної пам'яті приймають  $y = x$ . У гетероасоціативних мережах  $x$  й  $y$  в загальному випадку різняться.

Це важливе правило навчання було запропоновано Б. Уїдроу й М. Е. Гоффом і найбільше відповідає одношаровим ШНМ прямого поширення. Ідея його полягає в тому, що якщо під час навчання мережі можна встановити розбіжність між її бажаною й наявною реакціями, ця розбіжність може бути усунута або зменшена шляхом зміни певним чином вагових коефіцієнтів зв'язку.

Значний інтерес до перцептронів викликаний роботою Ф. Розенблатта, у якій він досліджував нейромережеву модель сітківки (RETINA) — фотоперцептрон. Згодом такий підхід широко використовувався для моделювання обробки оптичних сигналів. Фотоперцептрон зображений на рис. 2.1 і складається, відповідно до концепції Розенблатта, із трьох шарів, що послідовно здійснюють попередню обробку (розбивання) образу, оцінку його характеристик і розпізнавання:

- сітківка (RETINA);
- асоціативний шар;
- вихідний шар.

Попередня обробка образу не залежить від його виду. Однак результат цієї обробки має забезпечити можливість розпізнавання образів на основі аналізу їхніх характеристик. Нарешті, вихідний шар (класифікатор) аналізує характеристики знову пропонуваного образу й установлює його відповідність одному з раніше поданих.

Сигнали першого шару, сітківки, подані у двійковій формі, надходять на асоціативний шар, причому в загальному випадку не всі нейрони першого шару пов'язані з усіма нейронами другого шару. При встановленні цих зв'язків виникає можливість структуризації вхідних даних, тобто виділення й об'єднання в так звані рецептивні поля найбільш важливих ознак (областей).

У зв'язку з цим під рецептивним полем розуміють множину всіх нейронів вхідного шару, пов'язаних з одним нейроном асоціативного шару. Зв'язки між нейронами асоціативного й вихідного шарів варіабельні й можуть модифікуватися шляхом зміни вагових коефіцієнтів.

Нейрони асоціативного шару мають лінійні активаційні функції, тому під час надходження із сітківки вхідних (дратівних) сигналів вони посилають імпульси на вихідний шар, де й відбувається додавання зважених імпульсів. У вихідному шарі використовуються уні- або біполярна активаційні функції. Якщо сума зважених імпульсів перевищує деяке задане порогове значення, виробляється одиничний вихідний сигнал, якщо не перевищує — нульовий (для уніполярної) або  $-1$  (для біполярної функції активації). У зв'язку з цим перцептрон може розглядатися як двошарова ШНМ прямого поширення.

Існують різні шляхи реалізації процесу навчання перцептрона, однак у їхній основі лежить таке правило: вагові коефіцієнти перцептрона змінюються тільки тоді, коли виникає розбіжність між його фактичною й бажаною реакціями.

### **3 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

Окрім основних галузей, таких як промисловість, будівництво, торгівля та сільське господарство, значний вплив на економічний розвиток країни має транспортна галузь. Ця галузь істотно впливає на цілісність

країни, її економічну та національну безпеку. Військовий стан у країні привів до суттєвих змін у всіх галузях економіки, зокрема, порушені транспортні сполучення, зруйновані або перестали функціонувати деякі види транспорту. В умовах таких масштабних змін спостерігається трансформація транспортної системи, яка водночас має вплив на наше розуміння мобільності, розвиток макроекономіки країни в цілому та на окремі галузі зокрема. Галузь зазнала суттєвої структурної руйнації та нині функціонує в умовах невизначеності. Це вимагає організації нових підходів до управління транспортною системою, що враховує зовнішні впливи, які часто носять невизначений характер.

Дослідження, результати якого представлені в статті, ґрунтується на аналізі змін, що відбуваються в структурі транспортної системи України, і виконано з метою розробки концептуальної моделі операційного менеджменту в умовах воєнного стану. Враховуючи складність транспортної системи, зруйновану систему стратегічного управління її функціонуванням, дослідження вимагали системного підходу. Використовуються основи системного аналізу складних систем, цільового аналізу. Ці методи дозволили проаналізувати явища, які зараз відбуваються в транспортній системі, зрозуміти закономірності їх перебігу та оцінити їх вплив на транспортну систему. У процесі дослідження отримано моделі, що характеризують стан транспортної системи, зовнішнього середовища, в якому вона функціонує; вирази для оцінки критеріїв досягнення цілей системи.

Сформовано концептуальну модель оперативного управління транспортною системою з урахуванням безпеки її функціонування.

У світі спостерігається розширення глобалізаційних процесів, що призводить до зростання урбанізації. Прояв цих явищ призводить до збільшення потреби в мобільності населення. Мобільність стала основним засобом пошуку ресурсів та вирішення продовольчих проблем [17].

Крім того, транспортні системи допомагають вирішувати проблеми комунікації та саморозвитку людей.

Транспорт також є найважливішим фактором міжнародної торгівлі [18, 19, 20, 21].

Цей фактор є особливо важливим для розвитку економіки України.

Це пояснюється тим, що Україна межує з чотирма країнами Європейського Союзу, три з яких є колишніми союзними республіками.

З урахуванням такого географічного розташування була розроблена стратегія розвитку транспорту в країні, яка передбачала досягнення обсягу транзитних вантажів у 220 млн. тон [10].

.До 2022 року в Україні було налагоджено ефективне функціонування автомобільного, залізничного, морського, повітряного та трубопровідного транспорту, яке базувалося на постійному впровадженні логістичних та технічних інновацій [11, 12].

Воєнний стан в країні призвів до значних змін у всіх галузях економіки. Порушено транспортне сполучення, зруйновані або перестали функціонувати деякі види транспорту. В умовах таких масштабних змін спостерігається трансформація транспортної системи, яка водночас має вплив на наше розуміння мобільності, розвиток макроекономіки країни в цілому та окремих галузей зокрема.

Аналіз сучасного стану та умов функціонування транспортної системи України виявив нові проблеми, притаманні нестабільному періоду її

існування: взаємодія транспортних підприємств в умовах розірваних зв'язків підприємств транспортної інфраструктури, децентралізація управління логістичними процесами, організація виробництва в умовах воєнних дій тощо.

Очевидно, що масштабність проблем, з одного боку, та домінуючий відгук функціонування транспортної системи на нові виклики, з іншого боку, ставлять ці проблеми на даний час до розряду злосудних. Крім того, особливість політичної, соціальної ситуацій в країні додають значний рівень невизначеності в процесі управління транспортною системою країни та стратегічного прийняття рішень щодо її використання.

Тому актуальними є всебічний аналіз всіх факторів, які спричиняють зміни у транспортній системі України у військовий час та обґрунтування напрямків формування ефективного управління.

Це питання широко піднімалося науковцями під час пандемії COVID-19. Особливості соціальної організації суспільства змусили звернути увагу на діяльність транспортної галузі в нових реаліях. Зокрема, автори [22] зазначають, що явище COVID-19 вимагало впровадження нових технологій у маркетингову діяльність транспортних підприємств у зв'язку зі змінами в поведінці споживачів.

Для транспортної галузі зміни в суспільному житті призводять до розриву усталених транспортно-логістичних ланцюгів і падіння обсягів вантажоперевезень. Це вимагає змін у системі управління [23].

Аналіз відомих досліджень показує, що нагальним завданням, яке необхідно вирішити, є розвиток нової транспортної мережі, збільшення її пропускної спроможності та стримування транспортних тарифів. Тобто транспортна система має бути адаптована до нових умов функціонування.

Дослідження організації планування перевезень у разі виникнення непередбачуваних ситуацій представлено в роботі [14].

Автори представляють результати поглибленого аналізу робіт, спрямованих на відновлення стійкості залізничного транспорту. Зазначається, що основними напрямками планування на випадок непередбачуваних ситуацій та відновлення стійкості в літературі є: коригування графіків руху з урахуванням сценаріїв відмов; оптимізація технічного обслуговування рухомого складу; впровадження моделей мінімізації витрат та затримок в роботі порушеної мережі.

Автори зазначають, що більшість досліджень присвячено тактичному плануванню технічного обслуговування для визначення оптимального графіка заходів з покращення інфраструктури. Представляють систему прийняття рішень, яка фокусується на розробці оптимальної політики технічного обслуговування залізничної інфраструктури. Таке представлення планування не може бути застосоване в умовах воєнного стану при мінімізації витрат та застосуванні кластеризації заходів, де це можливо.

Слід також зазначити, що на даному етапі проблема розвитку та функціонування транспорту характеризується значною невизначеністю. Добре налагоджені зв'язки транспортної системи базувалися на тісній взаємодії транспортних інфраструктур, порушуються і вже не можуть бути описані відомими моделями організації.

Дослідження проводилося з використанням системного аналізу [15, 16].

Така методологія дослідження обумовлена складністю транспортної системи, необхідністю аналізу проблем як з боку транспортних і виробничих підприємств, так і з боку можливостей волонтерських організацій.

Складність системи також обумовлена практичною відсутністю стратегічного планування діяльності суб'єктів виробничо-транспортної системи країни та нагальною потребою в організації тактичного управління з урахуванням конкретної ситуації, що склалася на даний момент часу.

Системний підхід до здійснення процесу дослідження дає можливість зрозуміти причини багатьох явищ, що відбуваються в системі, та виявити закономірності їх перебігу [17, 18, 19, 20].

Загальна схема системного дослідження наведена на рис. 3.1.



Рисунок 3. 1 Узагальнена схема дослідження системи

На першому етапі дослідження було сформовано мету функціонування транспортної системи в умовах воєнного часу та окреслено критерії, що визначали вибір способу її досягнення. Розглянемо систему як модель (рис. 3.2).

У дослідженні проаналізовано основні фактори, що спричиняють зміни в транспортній системі.

Виділено дві групи факторів: внутрішні та зовнішні.

Внутрішні включають:

- зміна організаційної форми та технології організації транспортних процесів;
- нові транспортні маршрути;
- зміна типів транспортних засобів;
- реінжиніринг транспортних підприємств;
- паливно
- енергетичні проблеми;
- соціально
- політичні проблеми;
- демографічні зміни.

За зовнішніми ознаками:

- зміна місцезнаходження транспортних компаній та їхніх потенційних партнерів;
- зміни в структурі, обсягах вантажів;
- зміна організаційних умов перевезень, які викликані факторами небезпеки для життя перевізників та цілісності вантажу;
- відносини між Україною та іншими країнами.

Функція узгодження визначатиме параметри зовнішнього середовища та транспортної системи.

На другому етапі було побудовано та проаналізовано дерево цілей.

Цей метод часто використовується для поглиблення досліджень [24]. Дерево цілей дозволило розділити їх на рівні.

Декомпозиція глобальної мети -організація оперативного управління транспортною системою в умовах воєнного часу, яка була здійснена за допомогою дерева цілей, дозволила відобразити їх внутрішні взаємозв'язки та спростити процедуру прийняття тактичного управлінського рішення [22].

Під час побудови використовувалися умовні позначення:

- основне призначення;
- позначення зв'язків, де  $i$  -ранг цілі, з якої виходить лінія зв'язку;  $j$  номер вершини, з якої виходить лінія зв'язку;  $k$
- номер вершини, в яку входить лінія зв'язку.

Цифрові позначення цілей відображають їх місце і рівень у структурі дерева, зв'язок і підпорядкованість цілям, розташованим вище, ціль другого рівня, підпорядкована цілям першого рівня.

Встановлення конкретних цілей системи дозволило перейти до наступного етапу вибору критеріїв оцінки транспортної системи. Цій темі присвячені роботи [23, 24, 25].

Критерії оцінки ефективності включають:

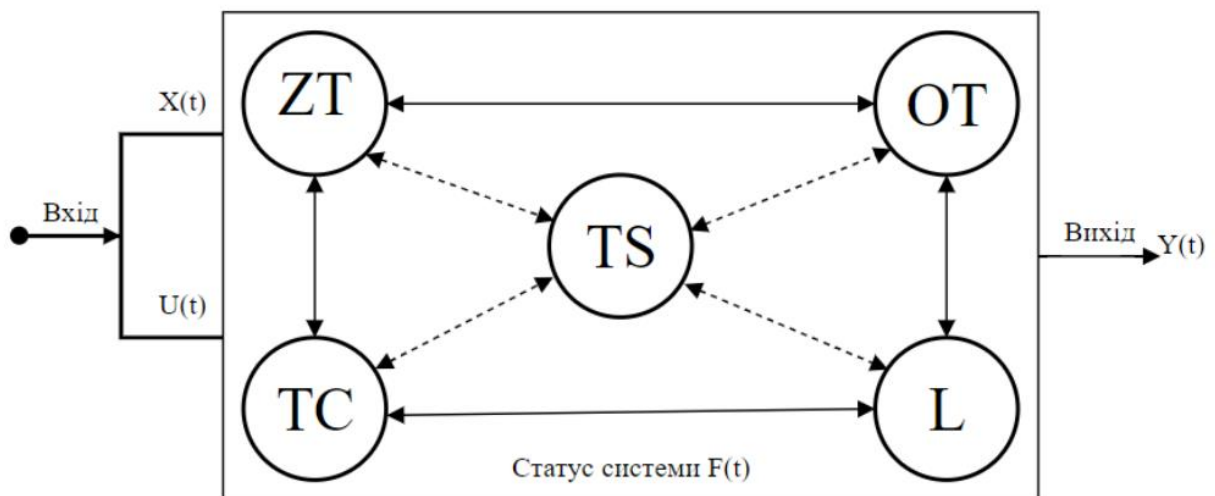


Рисунок 3.2 - Модель об'єкта дослідження

Система функціонує у зовнішньому середовищі, яке може впливати на неї та змінювати її стан.

## 4 ОСОБЛИВІСТЬ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ

Одним із основних завдань агропромислового комплексу в сучасних умовах є підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки в новітніх технологіях та підвищення економічності за рахунок розробки і реалізації методології підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки, сумісного її функціонування та оптимізації їх управління. Досягнення поставленої задачі забезпечується на основі впровадження комплексу взаємозв'язаних завдань по запровадженню систем точного землеробства [26]. Особливість мехатронної системи управління транспортним засобом (рис. 4.1) пов'язана з підключенням механізмів накопичення і обробки даних для реалізації можливостей виконання необхідних функцій в невизначених умовах при випадковому характері зовнішніх змін інформації.

До інформації подібного виду може відноситися непередбачена зміна цілей, параметрів зовнішнього середовища, експлуатаційних характеристик системи і об'єкту управління. Крім того, склад системи при необхідності доповнюється необхідними засобами обробки даних, які забезпечують узагальнення накопичуваного досвіду, і на цій основі відбувається поповнення інформації системи [27, 28]. Об'єкт управління в загальному випадку може мати складну конструкцію, що включає у свою структуру ряд функціонально-підпорядкованих підсистем, таких як керування двигуном, трансмісією, гідроначіпною системою та ін. Мехатронну систему слід розглядати як об'єднану інформаційним процесом сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, що працює у взаємозв'язку з оператором або самостійно, здатну на основі інформації і даних за наявності мотивації синтезувати мету, виробляти рішення про дію і знаходити раціональні способи досягнення мети. Враховуючи

останні досягнення в галузі систем точного землеробства та суміжних напрямів, галузь прикладного застосування технологій та методів обробки даних у вирішенні завдань управління можна і потрібно втілювати в сільськогосподарській техніці. Головною особливістю побудови систем управління є використання методів і технологій штучного інтелекту. Необхідність інтелектуалізації кожного з рівнів управління обумовлена схильністю виконуваних ними функцій впливу різних чинників невизначеності.

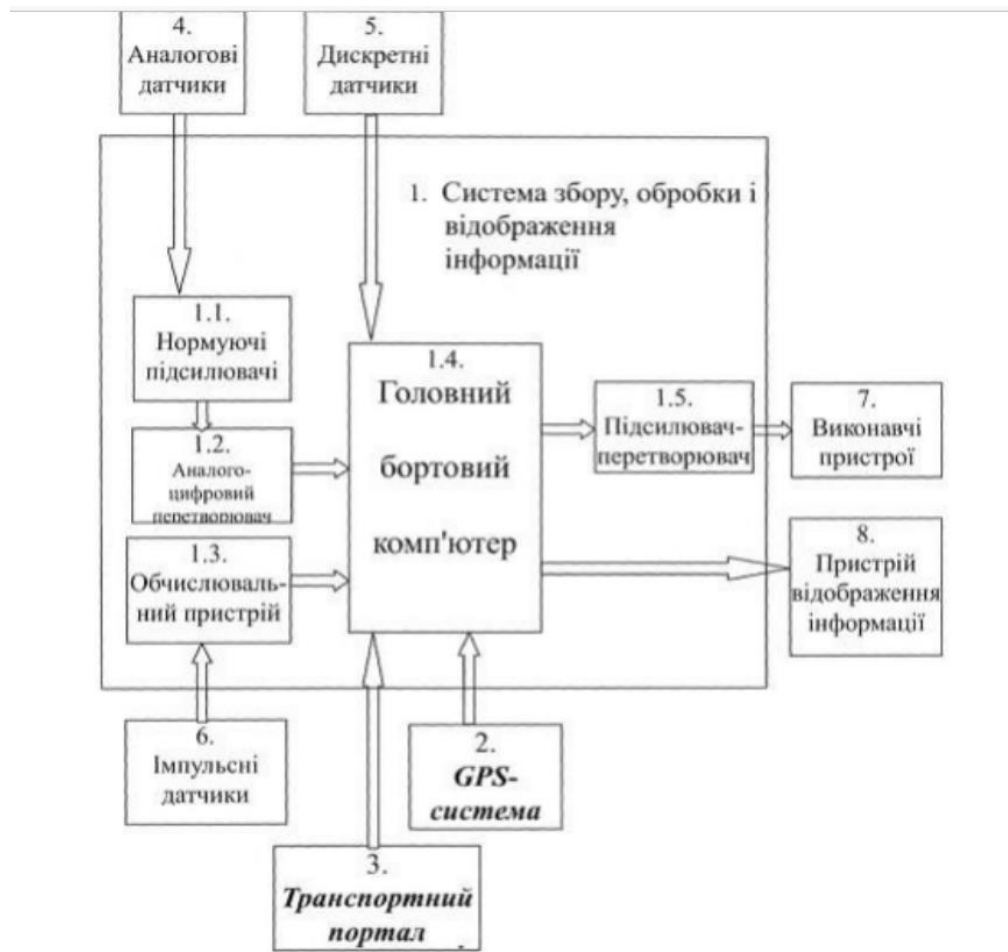


Рисунок 4.1 – Структура мехатронної системи керування

Для збільшення виробництва сільськогосподарської продукції та зниження її собівартості необхідно впроваджувати новітні інформаційні автоматизовані системи управління виробничими процесами на основі мережевих технологій збору, аналізу та розробки оптимальних управлінських рішень. Зворотній зв'язок в управлінні технологічними процесами дозволить оптимально вирішити проблему раціонального розподілу функцій в людино-розподілених системах і формування інтелектуальних ергономічних інтерфейсів, узгоджених з професійними ідеями осіб, що приймають рішення. Застосування інформаційної автоматизованої системи управління та систем точного землеробства підвищує продуктивність на 30%, знижує енерговитрати на 20%, а поліпшення якості технологічних операцій дозволить підвищити врожайність в 1,2-1,3 рази.

## 5 АГРЕГАТ ДЛЯ ГЛИБОКОГО РИХЛЕННЯ ҐРУНТУ

Ущільнення ґрунту – це явище, яке створює фізичний бар'єр між насінням та ідеальним його розвитком, за інших сприятливих умов. При відсутності такого розвитку адекватний ріст, в тому числі коренів і пагонів буде суттєво ускладнений, що призводить до втрати урожайності [28, 29]. Без легко розсипних або подрібнених ґрунтових матриць рослини не можуть використати в повній мірі накопичених енергетичних ресурсів насіння. Одним зі способів відновлення розсипних властивостей ущільнених ґрунтів є глибоке розпушування — механічне втручання довгих стержнів, які глибоко проникають в ущільнені шари (35-50 см) для розпаду й підйому ґрунтів [30], тим самим створюючи простір для розвитку рослин, проникнення поживних речовин й вологи, а також накопичення органічних матеріалів. Передумовою для застосування цього знаряддя є тривалі застої води на полях, що утворюються навесні чи по рясних дощах.

Ринок України досить насичений машинами для виконання глибокого розпушування ґрунту [31], проте не всі вони характеризуються таким показником, як універсальність, тобто здатністю працювати, скажімо, за переходу господарства від традиційної до нульової технології ґрунтообробітку, коли потрібне максимальне збереження поживних решток на поверхні поля. Крім того, комплектуючі і запасні частини до розпушувачів, особливо закордонного виробництва, є доступними по ціні [32]. Тому є потреба у глибокорозпушувачі, який би якісно виконував руйнування надмірно ущільнених шарів ґрунту, чинив мінімальний вплив на верхній шар ґрунту, дозволяв застосовувати його при технологіях мінімального та нульового обробітку ґрунту та залишав за собою рівну поверхню за один прохід. Відповідно до цих вимог пропонується конструкція глибокорозпушувача

(рис. 5.1), яка включає в себе раму 1, дисковий передплужник 2, глибокорозпушувальні стійки 3 та задній подвійний коток із зубцями 4

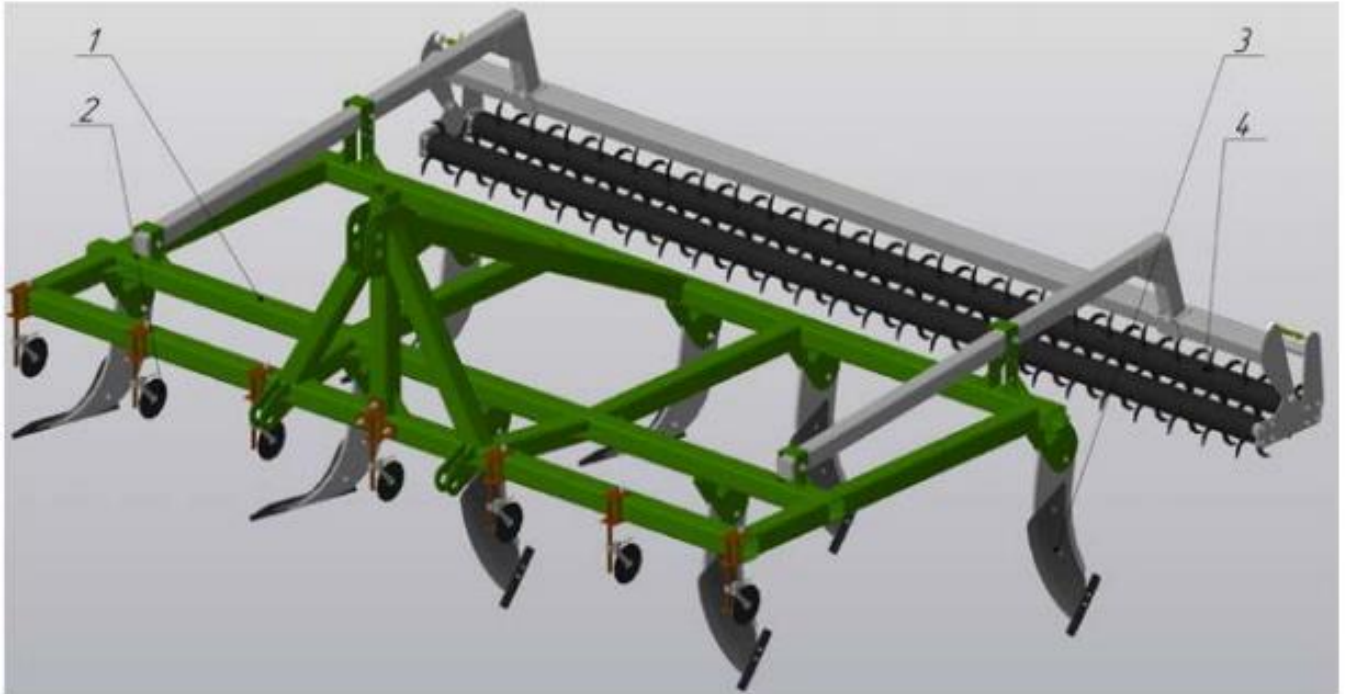


Рисунок 5.1 – Агрегат для глибокого рихлення ґрунту: 1 – рама; 2 – дисковий передплужник; 3 – глибокорозпушувальні стійки; 4 – задній подвійний коток із зубцями

Отже, застосування такої концепції глибокорозпушувача дозволить за один прохід розпушити надмірно ущільнені шари ґрунту і забезпечити хорошу роботу при технологіях мінімального та нульового обробітку ґрунту. Пропонована конструкція наразі реалізована у вигляді твердотільної моделі з метою подальших досліджень і виготовлення дослідного зразка.

## 6 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ

В наш час конвеєрний транспорт має на кар'єрах [33] значно менше застосування в порівнянні як з залізничним, так і з автомобільним, але безперервно зростає кількість нових та проектованих конвеєрних ліній.

Конвеєрний транспорт відрізняють поточністю дій; можливістю досягнення високої, практично безмежної продуктивності, незалежної від довжини устаткування; високу ступінь автоматизації, незначний штат обслуговуючого персоналу; великий кут нахилу устаткування (до  $18^{\circ}$  –  $20^{\circ}$ ). Практика показала, що конвеєрний транспорт більш безпечний, а ніж залізничний або автомобільний [34]. Стрічковий конвеєр складається з конвеєрної стрічки, котра огинає привідний та натяжний барабани. Стрічка з вантажем по всій довжині конвеєру підтримується нерухомими роликівими опорами. Конвеєрна стрічка служить тяговим та несучим органом у конвеєрі, що і визначає специфічні вимоги до неї: значна поздовжня міцність; поздовжня гнучкість; поперечна гнучкість, але не надмірна; мала пружна та залишкова витяжка; високий супротив пробою, абразивному зносу та старінню у наслідок вигинів на барабанах, перекочуванню на роликах, абразивного та ударного впливу вантажу на навантажувальних пунктах та на роликах [34]. Також під час транспортування подрібненої гірничої маси в умовах дробильних фабрик, рудозбагачувальних фабрик та фабрики виготовлення обкотишів існує ймовірність передчасного виходу з ладу конвеєрної стрічки, а саме наскрізний поріз, розшарування з'єднувального шву, зміна положення стрічки відносно барабанів [35], тощо. Все це призводить до тривалих позапланових зупинок обладнання, і як наслідок зупинки всього технологічного ланцюга. В поточний час контроль стану конвеєрної стрічки відбувається лише візуально, тобто машиніст конвеєру періодично виконує огляд її стану на предмет наявності

дефектів. Але на конвеєрах довжиною більше 2-3 км, такий контроль займає великий проміжок часу. Також на якість виконання таких оглядів може впливати людський фактор, а саме емоційний стан, кваліфікація обслуговуючого персоналу і т.д. Для вирішення та усунення вищеописаних проблем пропонується виконати удосконалення процесу діагностики стану конвеєрної стрічки. А саме встановити зі сторони натяжного та приводного барабанів системи машинного зору, що включають в себе відеодатчики (рис. 6.1). У разі, коли на місці натяжного барабану знаходиться перевантажувальний вузол, датчики потрібно встановлювати після вузла.

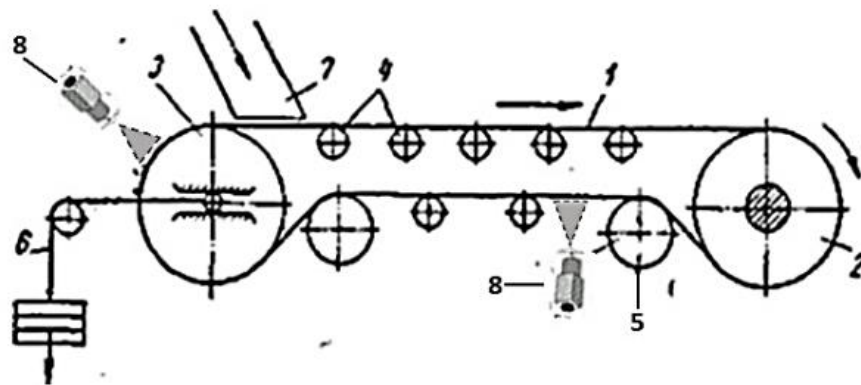


Рисунок 6.1 - 1-стрічка, 2-натяжний барабан, 3-приводний барабан, 4-ролики, 5-відхиляючий барабан, 6-натяжна станція, 7-завантаження, 8-камера машинного зору

Удосконалення процесу діагностики дозволить виконувати безперервний контроль технічного стану конвеєрної стрічки (робочої сторони) на предмет наявності дефектів, а також виключить вплив людського фактору на якість виконання таких оглядів.

## 7 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МЕТАЛОТОРГУЮЧОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТУ КОЛІС ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ

Торгові організації, які ведуть торгівлю металопрокатом в своїй діяльності використовують вантажопідіймальні механізми – козлові та мостові крани. В залежності від обсягу перевалки (прийняття/відвантаження) металопрокату інтенсивність роботи вантажопідіймальних кранів буває високою, що в свою чергу приводить до зношуванню окремих елементів крана і в першу чергу кранових коліс. Для металоторгуючої організації ремонт кранових коліс не є основною діяльністю, тому більшість компаній замовляють послугу ремонту кранових коліс у підрядних організаціях, але від якості ремонту та безперебійної роботи кранів напряду залежить діяльність металобаз. Починаючи з 2013 року в Україні скорочується кількість компаній які в змозі виконувати цю послугу, у зв'язку з чим вартість росте, а якість знижується. Нові кранові колеса придбати майже неможливо, тому що під виглядом нового колеса у 99% продають відновлене. [36]



Рисунок 7.1 – Причини вибраковки коліс, %

Виходячи зі статистичної інформації, яка наведена на рис. 7.1 та рис 7.2. (джерело – ТОВ «МЕТІНВЕСТ-СМЦ») приходим к висновку, що основними причинами вибраковки коліс являються зношення реборд та бігової стрічки, але у зв'язку зі складнощами в пошуку підрядних організацій для ремонту та збільшеної вибраковки у зв'язку з неякісним ремонтом 12% від всього парку кранових коліс знаходиться в невідремнтованому стані та при настанні негайної потреби їх буде не можливо встановити на кран. Виходячи з цього, основною метою ремонту кранових коліс власними силами є необхідність відновлення саме коліс, на яких зношені реборди та бігова стрічка.



Рисунок 7.2 – Парк коліс металотрейдера, %

Згідно [37] при ремонті машин і обладнання основне застосування отримало зварювання плавленням (наплавка) за допомогою теплової електричної дуги. На ремонтних підприємствах отримали розповсюджене застосування автоматичні (механізовані) способи зварювання і наплавлення під шаром захисних газів, в якості яких для сталі та чавуну застосовують вуглекислий газ. Для наплавлення спрацьованих поверхонь деталі циліндричної форми [38] як правило застосовують токарний верстат із зниженими оборотами шпинделя. Деталь встановлюють в центри токарного верстата. Механізм подачі електродного дроту разом з касетою встановлюють на супорті токарного верстата, разом з яким вони здійснюють в процесі наплавлення повздовжне

переміщення. Наплавлення у середовищі вуглекислого газу виконують на постійному струмі зворотної полярності. Марку електродного дроту вибирають залежно від матеріалу відновлюваної деталі і потрібних фізико-механічних властивостей, рекомендується застосовувати дроти діаметром 0,5-2,5 мм марок Св-08Г2С, Св08ХГСМА та ін. Під час роботи кранових коліс згідно [38] поверхні тертя зазнають декілька видів пошкоджень: тріщиноутворення термічного походження; розтріскування поверхонь тертя в результаті термічного впливу (під час гальмування відбувається інтенсивне нагрівання, а потім охолодження).

Утомне спрацювання – тріщини утворюються на поверхні тертя і входять, звужуючись у глибину шару. Розвиваючись по довжині, дрібні тріщини створюють сітку на окремих обмежених або великих ділянках поверхні. Виходячи з вищенаведеного, приходимо к висновку, що колесо перед ремонтом методом наплавки необхідно прибрати зовнішній шар металу, в якому утворились тріщини. Зняти зовнішній шар металу доцільно буде на токарному верстаті. В роботі [39] з'ясовано, що в зоні термічного впливу (наплавки) спостерігається збільшення розмірів зерна, змішана феритно-перлітна структура з окремими ділянками відманштеттової структури, що свідчить про сильний перегрів і схильність до крихкого розтріскування. Для усунення наслідків перегріву потрібно провести термічну обробку для подрібнення зерна. Виходячи з вищенаведеного технологія ремонту кранових коліс методом наплавки виглядає наступним чином: 1. Механічна обробка під наплавку (видалення розтріскувань, які утворились під час роботи колеса); 2. Наплавка (відновлення зношених поверхонь); 3. Термічна обробка (для подрібнення зерна); 4. Механічна обробка (доведення геометричних параметрів відновленого колеса до наведених у кресленні). Наступним кроком є аналіз креслень коліс, які потрібно буде ремонтувати, їх кількості для визначення обладнання для виконання ремонту.

## 8 ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Згідно зі стратегією експлуатації технічних об'єктів (ТО), будь-який з них, час роботи якого досягає терміну чергового ремонту, може бути виведеним у ремонт у справному стані. З іншого боку, якщо в міжремонтний період у будь-якому ТО під час роботи стрімко почне розвиватися дефект, це може призвести до виходу його з ладу раніше досягнення терміну планово-попереджувального ремонту (ППР), унаслідок чого він вимагатиме ремонтно-відновлюваних робіт. Тому комплекс заходів ППР не забезпечує достатньої надійності агрегатів і призводить до необґрунтованих витрат їхніх деталей і вузлів, зайвих ремонтів і простоїв. Донедавно на більшості металургійних підприємств України був розповсюджений метод планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що передбачає зупинку обладнання періодично через деякий час (наприклад раз на тиждень або на місяць), або в залежності від напрацювання обладнання. Цей метод є недоцільним, через те, що зупиняється працездатне обладнання, виконується заміна запчастин які не відпрацювали свій ресурс. Тобто маємо як втрати в виробництві продукції, так і на закупку запчастин. З урахуванням означених недоліків підприємства запроваджують змішаний метод ППР з урахуванням стану обладнання, який передбачає періодичні зупинки обладнання при виявленні критичних дефектів за допомогою діагностики.

Проте цей метод не позбавлений недоліків.

До них можна віднести:

1. Виявлення критичного дефекту потребує багато часу на спостереження;
2. Відсутність запчастин для оперативної заміни, особливо це критично якщо запчастини закордонні та дорогі;
3. Важко розподілити персонал для робіт, особливо при дефіциті персоналу;

4. Низька організація робіт, через брак часу на підготування та навчання. Крім того, на більшості металургійних підприємств використовується обладнання яке майже вичерпало свій ресурс, тому точна оцінка стану обладнання є першочерговим завданням. З метою контролю за станом обладнання проводять технічне діагностування (контроль технічного стану) — визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю Основними задачами якого є [40]:

- визначення (розпізнання, оцінка) ТС;
- визначення причини невідповідності: несправності, дефекту, граничного ступеню зношеності тощо;
- виявлення дефектів на початку розвитку і усунення причин;
- оцінка допустимості подальшої експлуатації обладнання з урахуванням його ТС, оптимізація режимів експлуатації;
- обслуговування та ремонт обладнання за технічним станом (замість регламентного обслуговування і ремонту).

Види технічного діагностування за організацією в часі [41]: періодичне технічне діагностування — за якого надходження інформації про технічний стан об'єкта відбувається через встановлені інтервали часу; безперервне технічне діагностування — за якого надходження інформації про технічний стан об'єкта відбувається безперервно; оперативне технічне діагностування за якого надходження інформації про технічний стан об'єкта відбувається із завідома заданою стратегією в процесі функціонування об'єкта.

Про зміну технічного стану об'єкта судять за значеннями діагностичних (параметрів, які отримують в процесі технічного діагностування.

Розрізняють прямі і непрямі діагностичні (контрольовані) параметри [42]:  
- прямий параметр — безпосередньо характеризує технічний стан об'єкта.

До прямих параметрів відносять знос, зазор у з'єднанні, люфт та ін.; - непрямий параметр — побічно характеризує його технічний стан. Наприклад

тиск оливи, шум при роботі, вібрація та ін. Діагностування здійснюється або людиною безпосередньо (наприклад, зовнішнім оглядом, «на слух», оцінкою ступеня нагріву через дотик рукою та ін.), або за допомогою апаратури [42].

Рівень діагностики обладнання металургійних підприємств України знаходиться на початковому рівні, що передбачає періодичну діагностику вручну, з заповненням чек-листів, та внесення показників до бази даних, після чого спеціаліст вручну їх обробляє та робить висновки. Це приводить до:

1. Неможливості оперативного реагування на зміни технічного стану;
2. Великої трудомісткості виконання робіт;
3. Значних проміжків часу між проведенням діагностики (діагностику проводять 1 раз на тиждень та навіть рідше);
4. Виникнення похибок за рахунок людського фактору та багатьох етапів перезапису показників;
5. Ускладнення збору даних через небезпечні та шкідливі фактори (загазованість, високі температури, заборонені зони при роботі обладнання);
6. Потреби у високій кваліфікації працівників які проводять діагностику;
7. «Формалізму», через брак часу, або відсутність працівника. Для усунення недоліків періодичного діагностування запроваджуються системи безперервного технічного діагностування, що включають:

1. Датчики (температури, вібрації, ультразвуку);
2. Перетворювачі сигналу у цифровий формат;
3. Блок діагностики (виконує самодіагностику датчиків системи);
4. Фільтри даних (відокремлює хибні показники);
5. База даних для фіксації сигналів;
6. WEB сервер (дозволяє візуально створити тренд та провести аналіз даних);
7. Блок аналізатор (дозволяє встановити граничні показники при яких виводиться попередження, або взагалі зупиняється обладнання);

8. Експертний блок (дозволяє аналізувати вхідні дані та за рахунок алгоритмів розраховує відхилення показників). Такі системи вважаються дороговартісними для впровадження, це є основним недоліком, проте рекомендовані для використання на підприємствах зі складним, відповідальним та технологічним обладнанням. Крім того, експлуатація таких систем має багато переваг:

1. Система автоматизована (майже повністю виключено людський фактор);
2. Миттєве реагування на зміну ТС (дозволяє оперативно усунути дефекти або заздалегідь запланувати ремонтні роботи, що знижує ризик аварії);
3. Точне відслідковування змін технічного стану (дозволяє спрогнозувати тенденцію змін ТС, що дозволяє завчасно запланувати ремонтні роботи та своєчасно замовити запчастини);
4. Зменшення ручної та рутинної праці (основну роботу виконує техніка).

## **9 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШАРОВОГО МЛИНА ПОДРІБНЮЮЧИМ МАТЕРІАЛОМ (КУЛЯМИ)**

У зв'язку з постійним зростом попиту на металеву продукцію зростають і об'єми виробництва сталі, чавуну та інших металів. Основною сировиною чорної металургії є залізні та марганцеві руди, виробництво яких також постійно зростає. Процеси збагачення, що забезпечують металургійні підприємства високоякісною рудною сировиною, займають одне з провідних місць в гірничій промисловості. Збагаченню піддаються більш ніж 2 /3 залізної руди, що видобувається та вся марганцева руда. Збагачувальні фабрики для руд чорних металів являють собою потужні, повністю механізовані підприємства зі складними технологічними процесами збагачення, насичені великою кількістю різноманітним збагачувальним обладнанням. Модернізація технологічного обладнання гірничо-збагачувальних підприємств забезпечує значний економічний ефект, збільшення об'ємів виробництва та якості продукції.

Одним із гірничодобувних підприємств у Кривому Розі є ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ». Рудну базу комбінату складають Першотравневе та Ганнівське родовища, розташовані в північній частині Криворізького залізрудного басейну. Одною із ланок збагачування руди є процес подрібнення.

Даний процес виконується на рудозбагачувальній фабриці № 1 (далі РЗФ-1). Перша черга (секції № 1-16) введені в експлуатацію в 1963-1964 рр., друга черга (секції № 17-27) в 1970р. Технологічна схема збагачення секцій № 1-16 включає дві стадії подрібнення, чотири стадії магнітної сепарації, три стадії знешламлювання, в т.ч. знешламлювання зливу класифікаторів, та фільтрування. Технологічна схема збагачення секцій № 17-27 включає три стадії подрібнення, три стадії знешламлювання, п'ять стадій вологої магнітної сепарації та фільтрування. Для подрібнення руди на РЗФ-1 використовуються

барабанні циліндричні кульові млини з розвантаженням через решітку (МКР 3,6\*4,0; 4,0\*5,0) та з центральним розвантаженням (МКЦ 3,6\*5,5). Процес подрібнення: при обертанні барабана подрібнювальні тіла завдяки тертю захоплюються внутрішньою поверхнею барабана і підіймаються на деяку висоту, потім падають (або перекачуються) вниз. В млин подрібнювальний матеріал подається через патрубок завантаження в торцевій кришці всередину барабана і, просуваючись уздовж нього, піддаються впливу подрібнювальних тіл. При цьому подрібнення частинок матеріалу відбувається ударом падаючих подрібнювальних тіл і стиранням та роздавлюванням частинок між тілами.

Розвантаження подрібненого матеріалу проводиться через патрубок розвантаження в торцевій кришці, а далі через бутару. В якості подрібнювального матеріалу використовують помольні кулі, виготовлені із високоміцної сталі. Процес завантаження млина кулями відбувається наступним чином: ємність з кулями (кюбель) мостовим краном подається до млина і кулі завантажуються в ємність (кульовий живильник) для завантаження (довантаження) млина кулями. В млинах МКР з живильника, кулі, через перевантажувальний пристрій, подаються на равликівий живильник і далі разом із матеріалом доправляються до барабану млина. В млинах МКЦ з живильника кулі потрапляють одразу до барабану. Проблема такого способу завантаження є те, що при нерегульованому завантаженню млина кулями, у великій кількості одразу, частина куль потрапляє до шахти равликового живильника, що в свою чергу призводить до швидкого зносу черпаків, обриву хоботів равликового живильника і далі призводить до аварійної зупинці млина та тривалого простою технологічного обладнання в ремонті. Ми вважаємо доцільно виконати модернізацію процесу завантаження куль. А саме автоматизувати подачу куль з кульового живильника до млину за рахунок встановлення у живильник приладу, який буде порційно подавати кулі до равликового живильника без потрапляння куль до шахти.

## 10 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛУ НА КОНВЕЄРНОМУ ТРАНСПОРТІ

При транспортуванні гірничої маси за допомогою конвеєрного транспорту в умовах дробильних фабрик існує ймовірність потрапляння сторонніх металевих предметів на конвеєрну стрічку. Потрапляння металу може призвести до пошкодження стрічки (розрив, розшарування) і як наслідок аварійна зупинка обладнання, тривалий простій в ремонті, а в окремих випадках, при відсутності «гарячого» резерву призведе до зупинки усього технологічного ланцюга виробництва.

На деяких конвеєрах встановлені металодетектори, які зупиняють конвеєр при проходженні повз них металевих предметів. Дані металодетектори визначають відстань до предмету від себе, його геометричні розміри. В умовах гірничодобувних підприємств Кривого Рогу в середньому за одну технологічну 12-ти годинну зміну потрапляє і як наслідок вилучають від 1-ї до 4-х одиниць металевих предметів. Середній час вилучення 1-го предмету приблизно становить 20-40 хвилин з моменту зупинки конвеєру після спрацювання датчика. Вилучення металу виконує технологічний персонал, який обслуговує дане обладнання, за допомогою підручних інструментів.

Працівнику необхідно:

- 1) Узгодити з електротехнічним персоналом розбір схеми живлення обладнання;
- 2) На панелі оператора, який встановлений на металодетекторі, визначити місцезнаходження (відстань від датчика);
- 3) Дійти до місця розташування металу;
- 4) Зняти захисне огороження;
- 5) Вилучити сторонній предмет. Для запуску обладнання в роботу необхідно виконати зворотні вищевказані дії. Також одним із негативних

наслідків таких частих зупинок/пусків є те, що знижується ресурс працездатності електричного обладнання [40, 42]. Для вирішення та усунення вищеописаних проблем пропонується виконати модернізацію вже існуючої системи контролю потрапляння сторонніх металевих предметів:

1) Змонтувати на деякій відстані, по ходу руху стрічки, роботманіпулятор із пальцевим захватом для вилучення металу. Для більш точного визначення місця розташування стороннього предмету додати до вже існуючого датчику металодетектора декілька маленьких датчиків. Встановити їх перпендикулярно до осі руху стрічки на відстані приблизно 500 мм від вже встановленого датчику металодетектора. Дані датчики будуть визначати положення металу на площині стрічки. Модернізація процесу визначення та вилучення сторонніх металевих предметів дозволить виконувати цей процес без зупинки конвеєра та розбору його електричної схеми живлення, що значно зменшити втрати по виробництву та збільшити ресурс працездатності встановленого електричного обладнання

## **11 ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ГРЕЙФЕРНИХ МОСТОВИХ КРАНІВ ШЛЯХОМ МЕХАТРОННИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

Світовий розвиток технологій спонукають промислові підприємства України впроваджувати модернізацію у всіх ланцюгах виробничих процесів. Основними тезами науково-технічного прогресу пропоную розглянути застосування мехатронних систем та автоматизації обладнання. На основі трансформації обладнання шляхом автоматизації процесів можливо перейти від традиційних методів до рівня прогресивних технологій, які дають можливість підвищити ключові показники рівня безпеки та продуктивності процесів підприємства.

Одним із транспортних потоків у гірничо-металургійній промисловості застосовують грейферно - мостові крани у підготовці виробництва або навантаження готової продукції, що безпосередньо впливає на ефективність основних параметрів виробництва організації і головним завданням стає підвищення безпечної експлуатації та подовження тривалості робочого циклу грейферно - мостових кранів, забезпечити прямий контроль над процесом навантажувально - розвантажувальних робіт. Розглянемо головні критерії та ризики впливу на процес навантажувально-розвантажувальних робіт грейферно-мостових кранів: • зачеплення грейфера; • контроль розгойдування вантажу; • Функціональні рішення оптимізації процесів усунуть негативні фактори під час експлуатації грейферно - мостового крана шляхом мехатронних та автоматизованих систем.

Автоматизована функція захисту, що спрацьовує при зачепленні вантажу, зупиняє рух крана при випадковому зачепленні грейфера – і це знижує ризик виникнення аварійних ситуацій під час переміщення виробничого обладнання та попередити пошкодження вантажу під час переміщення. Автоматизована

функція контролю розгойдування вантажу, коригує прискорення та уповільнення візка моста крана. Це впливає на значне скорочення тривалості робочого циклу, покращує точність позиціонування вантажу, підвищує безпеку вантажу та утримує вантаж від розгойдування. Адаптивне регулювання швидкостей оптимізує швидкість роботи та маневреність крана, дозволяє переміщати порожній грейфер зі швидкістю, що більш ніж в двічі перевищує швидкість навантаженого грейфера і за цей рахунок досягає підвищення ефективного управління механізмом підйому та закриття.

Автоматичне регулювання швидкості механізмів забезпечує точність руху на різних швидкостях робочого циклу, при цьому пуск виконується швидко та плавно, покращується контроль вантажу. Автоматизована функція позиціонування вантажу в заданій точці та кінцевого позиціонування дають можливість виконувати завдання підвищеної точності, значно скорочують тривалість робочого циклу та допомагають в управлінні крана. Функція захищеної зони та робочий простір – це ключовий критерій безпеки навантажувально - розвантажувальних робот. Дозволяє виділити «небезпечні зони» та межі робіт для проходження крана, забезпечуючи безпеку виробничого обладнання. Автоматична система не допустить випадкового зіткнення або пошкодження крана та розташованого поблизу нього обладнання. Автоматичний контроль над динамічними навантаженнями забезпечує плавне прискорення в момент відриву грейфера. Таким чином, фіксуються та вивчаються динамічні навантаження на кран, що збільшує термін служби металоконструкцій і механічних вузлів крана. Пропоновані рішення модернізації шляхом застосування автоматичних систем грейферних мостових кранів у повній вірі вирішує проблему з продуктивністю та безпекою навантажувально - розвантажувальних робот у виробництві. Такі критерії ефективно впливають на всі техніко - економічні показники та розвиток комплексу.

## **12 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИБРАКОВКИ ТА ЗАМІНИ ОБПАЛЮВАЛЬНИХ ВІЗКІВ НА ОБПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ LURGI**

Виробничі потужності підприємств металургійної та гірничорудної промисловості у світовому масштабі рік у рік підвищуються і за прогнозами будуть збільшуватися і далі. Модернізація технологічного обладнання забезпечує значний економічний ефект особливо у гірничорудній промисловості, яке являє собою виробництво з великими масопотоками, енергоємними переділами, що використовують агрегати великої одиничної потужності зі складними фізико-хімічними процесами. Для виплавки сталі та випуску гарячебрикетованого заліза в даний час широко використовуються обкотиші.

Основною стадією виробництва обкотишів є теплова обробка в конвеєрній обпалювальній машині (ОМ). Данні машини є основними агрегатами фабрик огрудковування. Випалювання обкотишів у таких машинах вимагає суттєвих витрат енергії, що призводить до споживання значної кількості природного газу. Вартість енергоносіїв постійно зростає, тому необхідність ефективного використання палива в ОМ не викликає сумніву. Інтенсифікація та ускладнення процесів, зростання одиничної потужності агрегатів та підвищення вимог до якості готової продукції не можливе без постійної модернізації, а ефективне управління ними немислимо без використання складних багаторівневих систем автоматизації із застосуванням засобів обчислювальної техніки – автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Без застосування нових розробок, у сфері електронно-обчислювальної техніки та програмного забезпечення, існування сучасного підприємства є неможливим. Вочевидь, будь-яке сучасне підприємство, і особливо гірничорудне, у якому випуск продукції вимагає застосування і найточнішого контролю над технологічними процесами,

неможливо уявити без систем автоматичного контролю та управління. Такі системи дозволяють значно підвищити продуктивність праці, покращити якість продукції та скоротити виробничі витрати. Отже для повноцінного та успішного функціонування будь-якого підприємства необхідне правильне застосування сучасних засобів автоматизації та контролю. Обпалювальний візок є основним, найбільш відповідальним робочим органом обпалювальної машини і призначений для переміщення шару обкотишів, що піддаються тепловій обробці газами різної температури.

У зв'язку з вкрай несприятливими умовами роботи термін служби обпалювальних візків достатньо низький, внаслідок чого витрати на поточний ремонт дуже високі. Особливе ретельне спостереження має бути за роботою обпалювальних візків під час експлуатації. Краще замінити дефектний візок резервним, ніж продовжувати роботу, допускаючи ризик. Слід вжити найекстремішних заходів до скорочення подачі тепла при раптовій зупинці випалювальної машини, так як короткочасний вплив високотемпературних газів протягом навіть 5-6 хв може викликати перегрів і вихід з ладу обпалювальних візків.

Оскільки зупинка обпалювальної машини знижує її продуктивність, а обпалювальний візок є невід'ємною її частиною, яка безпосередньо впливає на технологічний процес, з метою економії палива та електроенергії ми вважаємо, що необхідно модернізувати (прискорити) процес заміни обпалювальних візків шляхом автоматизації технологічного обладнання. Дана система також повинна вміти вести напрацювання обпалювальних візків шляхом зчитування QR code з мітки, яка буде встановлена на обпалювальний візок в місця з найменшим впливом температур, а також формувати звіти з їх поточним напрацюванням та переліком замін в найближчий час.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено математичну модель процесу взаємодії опорної поверхні крокуючої машини з ґрунтом, що може дати кількісну оцінку коефіцієнта зчеплення опорної поверхні лижі крану з урахуванням висоти, форми опорних елементів та відстані між ними з різними типами ґрунтів.
2. Розроблено методикау розрахунку для визначення відстані між прямолінійними та шевронними опорними елементами.
3. Проведено теоритичні дослідження систем штучного інтелекту у гірничо-металургійному комплексі. Отримано концептуальну модель руху гірничої машини.
4. В ході аналізу відомих досліджень було встановлено, що управління транспортною системою має здійснюватися з урахуванням змін у соціально-економічній сфері країни.
5. Встановлено доцільність використання методів системного аналізу та теорії ймовірностей для дослідження складної системи, що функціонує в нестійкому зовнішньому середовищі.
6. Сформовано концептуальну модель оперативного управління транспортною системою з урахуванням безпеки її функціонування.
7. Отримано концептуальну модель оперативного управління транспортною системою, що функціонує в нестабільному зовнішньому середовищі, яка може бути використана як адаптивна модель, що реалізує принципи управління, в тому числі тактичного.
8. Встановлено, що концептуальний процес управління такою системою здійснюється за всіма основними параметрами, а саме: управління за цілями, управління за функціями, управління за ситуаціями.
9. Досліджено процесу визначення та вилучення сторонніх металевих предметів дозволить виконувати цей процес без зупинки конвеєра та розбору

його електричної схеми живлення, що значно зменшити втрати по виробництву та збільшити ресурс працездатності встановленого електричного обладнання.

10. В ході аналізу діагностики обладнання металургійних підприємств України виявлено, було оновлено показники до бази даних, після чого спеціаліст вручну їх обробляє та робить висновки.

11. Сформовано головні критерії та ризики впливу на процес навантажувально-розвантажувальних робіт грейферно-мостових кранів:

12. Розроблено систему якісного контролю технічного стану обпалювальних візків встановити датчики контролю прогину для своєчасного сигналізування системою технологічному персоналу про виявлення відхилень.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дзержинська О.В. Вплив форми опорної поверхні лижи на переміщення крокуючого екскаватора/ О.В.Дзержинська, І.В.Крупко, О.В.Котляр // Сбірник наукових трудів "Вісник НТУ "ХПІ" : Технології в машинобудівництві. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – Вип.26(1248). – 81-85 с.
2. Дзержинська О.В. Використання факторного експерименту до дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого рушія з ґрунтом / О.В. Дзержинська // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ». – 2018. – Вип. 1(48) . – С.136-143.
- 21 Krupko I. The influence of the constructive parameters of the supporting surface of the skis on the operation of the walking crane /I. Krupko, O. Dzerzhinska // Scientific Journal «Paradigm of knowledge». –Muscat. – 2018. – № 32. – P. 5-15.
3. Dzerzhinska O. Analysis of the influence of the constructive features of stepping machines on the interaction of the supporting surface of skis with soil / O. Dzerzhinska // Вісник Тернопільського національного технічного університету «TNTU Scientific Journal». – Тернопіль: ТНТУ. – 2018. –Вип. 2 (90) . – С.124-131. (Index Copernicus)
4. Крупко І.В. Моделювання процесу пересування екскаватора з чотирьохопорним крокуючим рушієм / І.В. Крупко, В.В. Сегін, А.В. Веснін // Вісник Криворізького національного Університету, 2017.- Вип. 44, 2017– 54-58с.
5. Крупко В.Г. Моделювання процесу формування навантажень на механізми пересування екскаваторів / В.В. Проць, В.Г. Крупко // Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2018. — С.72

6. Mironova L., Ganieva A., & Rudaeva I. (2022). The role of transport in the meanings of economics of Russia and the survey of economic indicators of transport of the Russian Federation. *Transportation Research Procedia*, 63, 859-867. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.083>
7. Gossling S. (2022). Extending the theoretical grounding of mobilities research: transport psychology perspectives. *Mobilities*. Retrieved: August 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/17450101.2022.2092886>
8. Rekhviashvili L., Keblowski W., Sopranzetti C., & Schwanen T. (2022). Informalities in urban transport: Mobilities at the heart of contestations over (in) formalisation processes. *Geoforum*. Retrieved: June 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.05.008>
9. Villarreal. B., Garza-Reyes J. A., & Kumar V. (2016). Lean road transportation -a systematic method for the improvement of road transport operations. *Production Planning and Control*, 27 (11): 865-877, DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1152405>;
10. Концептуальна модель оперативного управління транспортною системою в умовах воєнного стану О.О. Налобіна, О.З. Бундза, М.В. Голотюк, А.В. Шимко, А.О. Михайлов / Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк, 2023, том 1, вип. 20. С. 177-186. DOI 10.36910/automash.v1i20.1047
11. Шимко А.В., Бундза О.З., Мартинюк В.Л. Пошкодження бульб картоплі під час транспортування .Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. – с 200 - 203.
12. Гудима Р.Р. Проблемні аспекти розвитку транспортної інфраструктури України. Проблеми і перспективи розвитку національної економіки в умовах євроінтеграції та світової фінансово-економічної кризи / ред. В. Прядко. Чернівці, 2009. С. 238–239.

13. Бойко В., Рибницький М. Підвищення ефективності роботи металоторгуючої організації за рахунок вдосконалення ремонту коліс вантажопідіймальних кранів/ Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 106-108 с.

14. Борисов С. До питання діагностування технічних об'єктів / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 108-110 с.

15. Carrese S., Cipriani E., Colombaroni C, Crisaili U., Fusco G., A. Gemma et al. (2021). Analysis and monitoring of post-COVID mobility demand in Rome resulting from the adoption of sustainable mobility measures. *Transport Policy*, 111, 197-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.07.017>

16. Choi H., Park S. Y., & Moon H. B. (2022). The shared mobility services ban in South Korea: Consumer preferences and social opportunity cost. *Travel Behaviour and Society*. 28, 214 -226 DOI: <https://doi.org/10.1016/i.tbs.2022.04.006>

17. Stough R. R. & Rietveld P. (1997). Institutional issues in transport systems. *Journal of Transport geography*, 5(3): 207-214. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(97\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(97)00016-1)

18. Tavasszy L.A., Ruijgrok C.J., & Thissen M.J. (2003). Emerging Global Logistics Networks: Implications for Transport Systems and Policies. *Growth and Change*, 34 (4): 456-472, DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.0017-4815.2003.00230>

19. Ianenko Marina, Ianenko Mikhail, & Shevchuk E. (2022). Digital transformation of marketing activities in transport systems management during COVID-19: experience, problems, prospects. *Transportation Research Procedia*, 63, 878-886. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.085>

20. Wichmann et al. (2022). A global perspective on the marketing mix across time and space. *International Journal of Research in Marketing*, 39, 502-521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2021.09.001>

21. Bešinović N., Ferrari Nassar R., & Szymula C. (2022). Resilience assessment of railway networks: Combining infrastructure restoration and transport management. *Reliability Engineering & System Safety*, 224, 108538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108538;2023184>

22. Furuya A., & Madanat S. (2013). Accounting for Network Effects in Railway Asset Management. *Journal of Transportation Engineering*, 139(1), 92-100. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000477](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000477)

23. Сорока К. Основы теорії систем і системного аналізу. Харків : ХНАМГ, 2004. 291 с.

24. Ferrario E., & Zio E. (2014). Goal Tree Success Tree-Dynamic Master Logic Diagram and Monte Carlo simulation for the safety and resilience assessment of a multistate System of systems. *Engineering Structures*, 59, 411-433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.11.001>

25. Бережной Н.Н., Губин В.Г., Дрожилов Л.А. // Окомкование тонкоизмельченных концентратов железных руд. — 1971. — С. 137-163. 2. Ловчинский Э.В. // Механическое оборудование фабрик для окучивания железнорудного сырья. — 1977. — С. 194-208. 3. Федоровский Н.В., Даньшин В.В., Губанов В.И., Сигуа Р.И. // Автоматизация фабрик окучивания железных руд и концентратов. — 1986. — С. 200-205. 4. Бережной Н.Н., Булычев В.В., Костин А.И. // Производство железнорудных окатышей. — 1977. — С. 128-139

26. Ласло О.О. Впровадження технологій точного землеробства в Україні // Вісник ПДАА. — Полтава: ПДАА, 2011. — Випуск 1 «Сільське господарство. Рослинництво». — С. 49–50. 7. Голотюк М.В. Розвиток роботомеханічних систем в машинобудуванні // Вісник ХНТУСГ ім. П.

Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2018. – Випуск 192 «Проблеми надійності машин». – С. 248–255.

27. Голотюк М.В. Моделювання управління транспортними потоками з використанням інтелектуальних транспортних систем / Голотюк М. В., Дорощук В. О., Пахаренко В. Л., Кучерук М. О. // Вісник НУВГП, серія: Технічні науки. – Рівне: НУВГП, 2018. – Вип. 3(83). – С. 110–118. 3. Голотюк М.В. Дослідження мехатронних систем в машинобудуванні // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк, 2017. – Вип. 37. – С. 31–37

28. Lipiec J. Nakanson I., Tarkiewich S. Soil physical properties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils. Soil Tillage Res. 1991. № 19. P. 307–317.

29. Медведєв В. В., Липець Є., Линдина Т. Е. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів. Вісник аграрних наук. 2002. № 5. С. 11–15

30. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі : монографія / С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, О. В. Стіньо, Р. В. Зоря ; за заг. ред. С. В. Кравця. – Рівне : НУВГП, 2018. – 235 с.

31. Навісний глибокорозпушувач Terraland TN [Електронний ресурс] // [www.bednar.com](http://www.bednar.com) [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://www.bednar.com/uk/%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D1%83%D1%88%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96/?gclid=Cj0KCQjw8egBhD0ARIsAJiDs aVB7Jj4OS0DA5BvazThaMLuCcEcvgRPFMz4mI4K\\_ZiMbiVY9m\\_CFUaAjfgEALw\\_w sВ](https://www.bednar.com/uk/%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D1%83%D1%88%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96/?gclid=Cj0KCQjw8egBhD0ARIsAJiDs aVB7Jj4OS0DA5BvazThaMLuCcEcvgRPFMz4mI4K_ZiMbiVY9m_CFUaAjfgEALw_w sВ) (дата звернення 23.03.2023). – Назва з екрану.

32. Глибокорозпушувачі [Електронний ресурс] // <https://www.agriaffaires.com.ua> [веб-портал]. – Режим доступу: [https://www.agriaffaires.com.ua/%D0%B2%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9/1/%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D1%83%D1%88%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96/?gclid=Cj0KCQjw8egBhD0ARIsAJiDs aVB7Jj4OS0DA5BvazThaMLuCcEcvgRPFMz4mI4K\\_ZiMbiVY9m\\_CFUaAjfgEALw\\_w sВ](https://www.agriaffaires.com.ua/%D0%B2%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9/1/%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D1%83%D1%88%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87%D1%96/?gclid=Cj0KCQjw8egBhD0ARIsAJiDs aVB7Jj4OS0DA5BvazThaMLuCcEcvgRPFMz4mI4K_ZiMbiVY9m_CFUaAjfgEALw_w sВ)

BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%85%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C.html (дата звернення 23.03.2023). – Назва з екран

33. Литвиненко К.В.. Надійність конвеєрного транспорту при відкритій розробці корисних копалин. Збірник наукових праць НГУ. Дніпро, 2000. с. 3-5

34. Hunan ZEGA. Introduction to Mining and Transport in Open Pit Mining // Metallurgical Industry Press, Open Pit Mining of Metal Deposits. – Published online: 2023-04-06. – Available at: <https://www.hnzega.com/wap/en/companynews/1003.html>.

35. Ковалець Р., Самохін О. Модернізація процесу завантаження шарового млина подрібнюючим матеріалом (кулями) / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 126-128 с.

36. Ковалець Р., Рибницький М., Мирна Н. Модернізація процесу вилучення металу на конвеєрному транспорті / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 128-130 с.

35. Жук А., Малишев Г., Желябіна Н., Таратута К. (2018). Технічне обслуговування металургійного обладнання. В-во Кондор. 288 с.

36. Гавриш, О. М., Стороженко, О. В., Хомяк, Н. П. (2020). Цифрові технології на підприємствах металургійної галузі України. ВВК 91, 328 с.

37. Lu L., ed. *Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. 2nd ed. – December 2, 2021. – Paperback ISBN: 9780128202265; eBook ISBN: 9780128202272.

38. Щербина О., Кашуба Ю. Модернізація процесу вибравки та заміни обпалювальних візків на обпалювальній машині LURGI / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки,

виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 160-162 с.

39. Харченко І., Мазан Б. Підвищення продуктивності та безпеки грейферних мостових кранів шляхом мехатронних та автоматизованих систем / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Синергія освіти, науки, виробництва в умовах глобальних викликів сьогодення», 29 березня 2023, Луцьк. – Луцький національний технічний університет, 2023. – 148-150 с.

40. Морохова Н.А., Перепелкін В.М. Автоматизація навантажувально-навантажувальних транспортних і складних робіт // Сучасні проблеми науки і освіти. - 2014. - №3.; 2. Підвищення ефективності управління транспортно-логістичними системами / Г.Ф. Бабушкін, О.Д. Омельченко, Г.О. Лебідь.: Технологічний центр, 2004. - №4 (10)

41. Ruan Y., Marsh S., Xue X., Li X., Liu Z., Wang J. Quantum approximate algorithm for NP optimization problems with constraints // *arXiv preprint* – 2020. – 27 p. – DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.00943>.

42. Рибницький М. В., Ковалець Р. В., Щербина О. В. Удосконалення процесу діагностики технічного стану конвеєрної стрічки / Перспективні напрямки розвитку науки, освіти, технологій та суспільства: теорія і практика: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 19 квітня 2023 р.). Полтава: ЦФЕНД, 2023. - 50-51 с.

## ДОДАТОК

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Перший проректор — проректор з  
навчальної роботи  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»



Наталія РЕКОВА  
«01» червня 2023 року

### ДОВІДКА ПРО ВИКОРИСТАННЯ

Результати виконання науково-дослідної роботи «Дослідження мехатронних систем гірничих машин з урахуванням різних горно-геологічних умов та розробка методології організації технічного сервіса гірничо-транспортного обладнання (№ держреєстрації 0122U201186), що містять:

- методи сучасної транспортної науки на основі системного підходу та з врахуванням комплексності та невизначеності умов функціонування транспортних систем;
- автоматизовані системи керування та геоінформаційні системи при організації перевізного процесу;
- алгоритми при проектуванні автоматизованих систем управління технологічними процесами з використанням сучасного програмного та апаратного забезпечення;
- методологія системного аналізу при створенні робототехнічних і мехатронних систем;
- синтез інтелектуальних системи управління мехатронними та робототехнічними об'єктами;

використовуються на кафедрі автоматизації, електро- та робототехнічних систем ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в рамках викладання дисциплін професійного ядра «Автоматизоване проектування та дизайн приладів і систем», «Системи управління мехатронних комплексів», «Методи штучного інтелекту в мехатроніці та робототехніці», «Комп'ютеризовані вимірювальні комплекси», «Проектування робототехнічних систем спеціального призначення» та «Спеціальна техніка у гірничо-металургійному комплексі» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем».

В.о. завідуючого автоматизації,  
електро- та робототехнічних систем,  
к.т.н., доцент.

Олексій Койфман