

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет транспорту та механічної інженерії
(повне найменування факультету)
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТА ЦИФРОВОЇ ТІНІ
КАНАВНОГО ПІДЙОМНИКА РОБОЧОГО ПОСТА

Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт

Освітня програма: Автомобільний транспорт

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТм-21
Михайло ДИНЬ

Керівник:
к.т.н., доцент
Юрій БУЛІК

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
„_____” _____ 2025 р.

к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Олег СІТОВСЬКИЙ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою автомобілів і
транспортних технологій

В. ОНИЩУК
„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Диню Михайлу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

Розробка концепції цифрової моделі та цифрової тіні канавного підйомника робочого поста

Керівник роботи: к.т.н., доцент Булік Юрій Володимирович

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 2025 р. № _____.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи грудень 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи:

Підйомник канавний. Основні положення цифрової трансформації виробництва технічного обслуговування і ремонту автомобілів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Вступ.

1. Обґрунтування актуальності цифровізації автомобільного канавного підйомника.

2. Розробка концепції цифрової моделі канавного підйомника.

3. Розробка концепції цифрової тіні автомобільного підйомника робочого поста.

8. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Мета, об'єкт та предмет дослідження

2. Життєвий цикл канавного підйомника

3–4. Цифрове представлення канавного підйомника

5–8. Схеми алгоритму розробки концепції цифрового представлення канавного підйомника на етапах його формування і експлуатації

9. Перспективи інтеграції цифрової моделі і цифрової тіні у структуру цифрового канавного підйомника

10. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « » лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Обґрунтування актуальності цифровізації автомобільного канавного підйомника.	09.2025	
2.	Розробка концепції цифрової моделі канавного підйомника.	10.2025	
3.	Розробка концепції цифрової тіні автомобільного підйомника робочого поста.	10.2025	
4.	Висновки.	11.2025	
5.	Підготовка презентації.	12.2025	
6.	Захист роботи.	Згідно графіка	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

М. ДИНЬ
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ю. БУЛІК
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

ДИНЬ М.І. Назва роботи: «Розробка концепції цифрової моделі та цифрової тіні канавного підйомника робочого поста». Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за Освітньою програмою «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра містить: вступ, три розділи з висновками, висновки, перелік джерел посилання.

Кваліфікаційна робота містить дослідження процесу цифровізації автомобільного канавного підйомника. Запропоновано алгоритми і розроблено концепцію цифрового представлення канавного підйомника на етапах його формування і експлуатації.

Ключові слова: цифрові технології, канавний підйомник, цифрова модель, цифрова тінь, алгоритм.

ANNOTATION

DYN M. Topic title: «Development of the Concept of a Digital Model and Digital Shadow of a Pit-Type Lift of a Service Post» Manuscript.

Qualification work of the master of educational program "Automotive transport" of a specialty "274 Automotive transport". Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The calculation and explanatory note consists of an introduction, three chapters with conclusions, general conclusions, and a list of references.

The thesis presents a study of the digitalization process of an automotive pit lift. Algorithms are proposed and a concept of digital representation of the pit-type lift is developed for the stages of its formation and operation.

Keywords: digital technologies, pit-type lift, digital model, digital shadow, algorithm.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО КАНАВНОГО ПІДЙОМНИКА.....	11
1.1 Обґрунтування вибору об'єкта цифровізації	11
1.2 Етапи життєвого циклу канавного підйомника	12
1.3 Умови експлуатації автомобільного підйомника.....	14
1.3.1 Умови безпеки під час експлуатації автомобільного підйомника.....	15
1.3.2 Технологічна складова умов експлуатації автомобільного підйомника	16
1.4 Впровадження цифрових технологій	19
1.5 Висновки до розділу.....	21
2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ КАНАВНОГО ПІДЙОМНИКА.....	23
2.1 Обґрунтування потреби у цифровій моделі автомобільного підйомника.....	23
2.2 Характеристика застосування цифрових моделей на прикладі етапів формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста	25
2.2.1 Застосування цифрової моделі на етапі формування обладнання.....	25
2.2.2 Застосування цифрової моделі на етапі експлуатації підйомника у виробничому середовищі	27
2.3 Розробка концепції цифрових моделей канавного підйомника.....	27
2.3.1 Алгоритми розробки концепцій цифрових моделей на етапах формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста.....	27
2.3.2 Розробка концепції цифрових моделей на етапах формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста.....	30
2.4 Висновки до розділу.....	33

3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВОЇ ТІНІ АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА РОБОЧОГО ПОСТА	34
3.1 Обґрунтування потреби використання та характеристика цифрової тіні канавного підйомника робочого поста.....	34
3.2 Розробка концепції цифрової тіні канавного підйомника робочого поста	35
3.2.1 Алгоритми розробки цифрової тіні на етапах формування та експлуатації підйомника.....	35
3.2.2 Розробка концепції цифрової тіні канавного підйомника	37
3.2 Оцінювання ефективності використання технологічного обладнання за даними цифрової тіні канавного підйомника робочого поста.....	40
3.3 Перспективи інтеграції цифрової моделі і цифрової тіні у структуру цифрового двійника канавного підйомника	42
3.4 Висновки до розділу.....	43
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	45

ВСТУП

Для якісного проведення технічного обслуговування і поточного ремонту робочі пости зон, діляниць та відділень автомобілів обладнані відповідним технологічним обладнанням різного рівня механізації. Технологічне обладнання може набувати якісних змін шляхом удосконалення елементів конструкції, поліпшення характеристик роботи, розширення функціональних можливостей у застосуванні тощо. Процес створення та удосконалення обладнання, ефективна його експлуатація здійснюється з використанням цифрових технологій в умовах зростаючої автоматизації та цифровізації виробництва.

Актуальність проблеми

Канавні підйомники робочого поста, є представниками підйомно-транспортного обладнання, що характеризуються високою інтенсивністю експлуатації на виробництві під час обслуговування різних типів транспортних засобів на підприємствах автомобільного транспорту.

Для забезпечення високого рівня досконалості, надійності, безпечності та ефективної експлуатації технологічного обладнання постів технічного обслуговування та ремонту рухомого складу виникає необхідність проведення цифрового моніторингу. Потреба постійного контролю параметрів стану й режимів роботи зумовлена технічними, технологічними, організаційними та економічними причинами.

Створення концепції цифрової моделі і цифрової тіні технологічного обладнання робочого поста, на прикладі канавного підйомника дозволить визначити основні принципи їх формування, головні чинники, складові елементи та алгоритми взаємодії між фізичним об'єктом і його цифровим відображенням, що вказує на актуальність досліджень, котрі розглядаються у роботі.

Метою дослідження є розробка концепції цифрової моделі та цифрової тіні канавного підйомника робочого поста на основі запропонованих алгоритмів заходів формування концепції відповідної моделі.

Завдання дослідження:

- обґрунтувати доцільність впровадження цифрових технологій як на етапі створення, так і експлуатації технологічного обладнання на прикладі автомобільного канавного підйомника робочого поста виробничого осередку підприємства автомобільного транспорту;
- проаналізувати особливості цифрових моделей і цифрових тіней та запропонувати алгоритм формування їх концепції;
- розробити концепції цифрової моделі та цифрової тіні канавного підйомника робочого поста за запропонованими алгоритмами на етапах формування і експлуатації життєвого циклу автомобільного підйомника.

Об'єктом дослідження є процес цифровізації етапів життєвого циклу технологічного обладнання для технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

Предметом дослідження є формування концепції цифрової моделі і цифрової тіні для автомобільного підйомника канавного робочого поста шляхом розробки відповідних алгоритмів.

Науково-практична цінність полягає у розробці алгоритму та методик, що сприятимуть ширшому впровадженню цифрових технологій для покращення процесу проектування і експлуатації автомобільних підйомників канавного типу.

Теоретичне значення роботи полягає у розробці та реалізації алгоритмів формування концепції визначених цифрових моделей на етапах формування і експлуатації життєвого циклу автомобільного підйомника.

Практичне значення одержаних результатів проведеного дослідження полягає у можливості детальної розробки цифрових моделей на основі запропонованої концепції.

Апробація роботи. Обговорення результатів проведених досліджень за темою кваліфікаційної роботи проведене 13 листопада 2025 р., на V студентській науково-технічній конференції ФТтаМІ ЛНТУ у Луцьку.

Публікації. Опубліковано тези доповіді [1] на тему магістерської кваліфікаційної роботи.

Структура роботи. Кваліфікаційна магістерська робота містить вступ, три основних розділи, висновки та список джерел посилання.

Кваліфікаційна робота магістра виконана з дотриманням основних вимог та рекомендацій [2–4].

1 ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО КАНАВНОГО ПІДЙОМНИКА

1.1 Обґрунтування вибору об'єкта цифровізації

Підйомно-транспортне обладнання (ПТО) на підприємствах автомобільного транспорту забезпечує переміщення, фіксацію, позиціонування та вантажно-транспортні операції з автомобілями, агрегатами і вузлами при виконанні технічного обслуговування (ТО), поточного ремонту (ПР) та діагностики. Важливим елементом цієї системи є підйомне обладнання, яке виконує функцію вертикального переміщення автомобіля або його частин для створення зручних і безпечних умов роботи [5–7].

Його застосування обґрунтовується різними чинниками: технологічними, техніко-економічними, ергономічними. Більшість операцій ТО та ПР (огляд ходової, змащувальні роботи, демонтаж агрегатів, ремонт підвіски, системи відведення відпрацьованих газів тощо) вимагають доступу під автомобіль. Таким чином підйомники поряд з оглядовими канавами є базовим технологічним оснащенням більшості постів ТО і ПР [5–9].

Канавний підйомник – оптимальний для діагностики, ТО та ремонтів трансмісії/ходової, особливо на комерційному транспорті та вантажівках. Використання такого типу підйомника розширює операційні можливості робочого поста обладнаного оглядовою канавою чи автомобільним підйомником (як траверса на платформі підйомника).

Аналіз конструкційних та схематичних рішень підйомників (траверс) вказує, що автомобільні канавні підйомники можуть мати різні компоновку, типи приводу і схематичні рішення механізмів [10–17]. Для швидкого переміщення можуть мати пневматичний привод [10, 11] і при цьому ножичний напрямлюючий механізм [10], чи пару лінійних циліндричних напрямлюючих [11]. Крім пневматичного, для виконання вертикальних переміщень платформи з більшою точністю і меншою швидкістю, використовується гідравлічний привод [12–16]. Для такого типу підйомників-траверс більш поширеним є

ножичний направляючий механізм, що виконує і силові функції пантографа через обладнання його важелів гідравлічними циліндрами.

Компоновка і кінематичні схеми обладнання передбачають різні варіанти розміщення силових гідроциліндрів: горизонтальне [12], під кутом до горизонту [13–16], вертикальне. Конструкції канавних підйомників з вертикальним розміщенням гідроциліндрів і напрямних, не дивлячись на простоту конструкції, зазвичай, не використовуються через значні габаритні розміри у вертикальній площині [17]. Забезпечуючи мінімальні габаритні розміри у початковому положенні (складеному стані) доводиться розміщувати вісь гідроциліндра горизонтально чи у положенні – близькому до горизонтального. При цьому, за певного завантаження платформи, максимальні зусилля на привод виникають у найнижчому її положенні, зменшуючись під час поступового переміщення платформи вгору. Силовий та кінематичний аналіз вказує на нелінійну характеристику необхідного зусилля створюваного гідроциліндром, яке також залежатиме від його розміщення у механізмі, за схематичним рішенням, і стану шарнірів механізму у продовж експлуатації автомобільного підйомника [18, 19].

1.2 Етапи життєвого циклу канавного підйомника

Життєвий цикл автомобільного підйомника канавного типу, як і більшості іншого технологічного обладнання, охоплює всі етапи на старті від задуму і появи ідеї до фінального виведення його з експлуатації (рис.1.1) [20].



Рисунок 1.1 – Схема життєвого циклу підйомника канавного

На початковому етапі визначається потреба створення підйомника та формується технічне завдання з урахуванням умов та обмежень (вантажопідйомності, типу приводу та вимог безпеки). На етапі конструювання під час проектування розробляється конструкція, аналіз кінематичних схем, моделюються механічні та гідравлічні системи приводу, як наслідок, виготовляється прототип обладнання для здійснення випробування.

У процесі проектування відбувається доведення конструкції для можливості впроваджувати розробки у виробництво, зокрема серійне. Контроль якості збірки дає можливість постачання обладнання на ринок. Закуплене обладнання встановлюється на робочих постах виробничих осередків підприємств автомобільного транспорту, де проводяться його пуск і налагодження. Для нормального функціонування проводиться підготовка та інструктаж персоналу.

У процесі експлуатації підйомник проходить регулярне технічне обслуговування з виконанням регламентних робіт, видів ремонту та за потреби може бути проведена його модернізація. На завершальному етапі життєвого циклу ефективного використання обладнання проходить його демонтаж з подальшою утилізацією, з врахуванням можливості переробки матеріалів.

На концептуальному етапі ініціації та зародження ідеї створення виробу внаслідок визначення потреби в підйомнику певного типу, наприклад канавний (двостійковий, ножичний тощо), визначаються дані для формування технічного завдання (вантажопідйомність, висота підйому, тип приводу, безпека тощо), проводиться оцінка економічної доцільності та відповідності нормам (ДСТУ, ISO).

Під час проектування здійснюється розробка конструкції підйомника та вибір матеріалів. На цьому етапі за допомогою створеної моделі у програмах тримірного проектування CAD проводиться моделювання механічних (гідравлічних, пневматичних, електричних систем). У результаті виготовлення та випробування прототипу на навантажувальних тестів, здійснюється перевірка безпеки та можливості серійного виготовлення.

Виготовлення деталей, вузлів та агрегатів (металоконструкцій, гідроциліндрів, електродвигунів тощо) та збірка складальних виробів і власне безпосередньо самого підйомника в умовах виробництва супроводжується контролем якості та відповідності технічним нормам.

Після доставки на виробництво підприємств автомобільного транспорту здійснюється монтаж і введення в експлуатацію (установлення на робочому місці, пуск, налагодження та первинне тестування з навантаженням). Для безпечної експлуатації необхідно проводити відповідні інструктажі персоналу. Під час експлуатації необхідно проводити регулярне технічне обслуговування (ТО: перевірка механіки, гідравліки, електроприводу), статичні та динамічні випробування роботи підйомника у заданих режимах зі встановленою вантажопідйомністю. У випадку виникнення усуваються несправності та проводиться дрібний ремонт.

Для підвищення безпеки або продуктивності здійснюється вдосконалення чи модернізація (заміна електродвигуна, гідроциліндрів або системи управління). На цьому етапі можливе впровадження нових технологій наприклад, цифровий контроль стану і облік характеристик роботи обладнання.

Для виведення з експлуатації проводиться демонтаж підйомника та утилізація та переробка металевих конструкцій, гідравлічних та пневматичних систем та електроприладів. За підсумками здійснюється аналіз ресурсів та витрат для планування впровадження наступного обладнання на заміну виведеному.

1.3 Умови експлуатації автомобільного підйомника

Для безпечної та надійної роботи обладнання протягом тривалого строку служби, необхідно забезпечити умови експлуатації автомобільних підйомників визначеними відповідними вимогами стандартів, нормами, правилами охорони праці і безпеки [21, 22] та рекомендаціями виробників [23, 24].

1.3.1 Умови безпеки під час експлуатації автомобільного підйомника

Для нормальної роботи обладнання, зокрема канавного підйомника має бути забезпечено параметри мікроклімату робочого середовища у приміщенні та робочій зоні. Обов'язкова природна або примусова вентиляція, особливо для відведення надлишкового тепла від електроприводів, гідростанцій тощо.

Огляд робочої зони має бути достатнім, мінімізація локального освітлення у місцях огляду без тіней на робочих поверхнях.

Забороняється експлуатувати підйомник на рухомій чи нестабільній основі з ймовірністю просідання, у тому числі, через перевантаження.

Електричне підключення здійснюється до енергетичних систем стабільного електропостачання від мереж (220 В чи 380 В, залежно від моделі). Забороняється експлуатація при пошкоджених кабелях чи відсутності автоматичного захисту і захисного заземлення. У випадку використання стиснутого повітря чи інших робочих речовин під'єднання здійснюється до відповідних об'єктів чи мереж.

Технічні вимоги до експлуатації підйомника на робочому посту

Автомобіль повинен бути розміщений симетрично, з врахуванням положення центру ваги. Лапи чи опори встановлюються під штатні опорні точки рекомендовані виробником транспортного засобу для рівномірного розподілу навантаження на опорні елементи.

Для роботи з масивними агрегатами (зняття КПП, двигуна) заборонено виконувати без передбачених додаткових підставок.

Забороняється підйом транспортних засобів масою, що перевищує номінальну для підйомника. Підйом і опускання має відбуватися плавно, без різких ривків. На кожній робочій висоті підйомник повинен автоматично фіксуватися на замках, що страхують від самовільного руху.

Вимоги до персоналу

Експлуатацію здійснює персонал відповідної кваліфікації, який пройшов інструктаж з охорони праці, навчання роботі з підйомниками, перевірку знань технічної документації і мають відповідний допуск.

Організовуючи умови безпечної експлуатації виключається перебування людей та сторонніх предметів на платформах та у зоні руху підйомних елементів. Під час піднімання чи опускання оператор повинен бачити весь автомобіль. Робоче місце повинно бути сухим, не засміченим.

Заборонено залишати підйомник з автомобілем у піднятому стані без фіксації як і ремонтувати підйомник, що перебуває під навантаженням.

Проведення технічного обслуговування і ремонту

Щоденна та періодична перевірка наявності та рівня робочої рідини (контроль рівня масла, доливання рідини відповідного класу згідно технічної документації). Перевірка на відсутність підтікання рідини, витoku повітря чи газів зі шлангів, циліндрів, з'єднань тощо).

Профілактичне обслуговування передбачає щоденний огляд та контроль стану лап, пальців, тросів, шлангів. Перевіряються робота механічних стопорів. Слідкують за відсутністю надмірних переміщень і зазорів, сторонніх шумів, ознак пошкоджень та руйнувань.

Проводиться планове ТО (як правило, раз на 3–6 місяців) передбачається перевірка систем приводу, змащення рухомих вузлів, діагностика стану електрообладнання. Можливі перевірки технічного стану підйомника органами технічного огляду. Оцінка несучої здатності основи підйомника (напрямних, анкерів та стану фундаменту тощо).

Заборонена експлуатація при відмові будь-якого стопора чи сигналізації. При аварійному зупиненні використовують кнопку «Стоп» або аварійний клапан.

На основі вище перерахованих умов та вимог можна визначити перелік параметрів для конструкційного удосконалення, а також для моніторингу і контролю під час експлуатації автомобільного канавного підйомника.

1.3.2 Технологічна складова умов експлуатації автомобільного підйомника

Технологічні умови експлуатації підйомника визначаються характером виробничого процесу на ділянці підприємства автомобільного транспорту, режимами завантаження технологічного обладнання та організацією робочого

часу. Ці фактори впливають на роботоздатність, термін служби (ресурс), безвідмовність і надійність підйомника.

Автомобільні підйомники працюють у циклічних режимах роботи (підйом → утримання навантаження → опускання) (рис.1.2), що характеризуються у середньому 10–20 циклів на зміну (для завантажених постів ТО і ПР).



Рисунок 1.2 – Схема циклічного процесу роботи підйомника

Більшість підйомників працюють у повторно-короткочасному режимі (S3) [25], що передбачає коротку роботу під навантаженням зі значними паузами між циклами. Циклічна зміна станів спричиняє нерівномірні пікові навантаження на електродвигун (пускові струми у декілька разів вищі від номінальних), механізми і приводи (гвинтові пари, гідравлічні помпа і трубопроводи, троси синхронізації тощо). Як наслідок перевантаження прискорений знос пар тертя, підвищений тиск у гідравлічних системах, більш інтенсивне старіння ущільнень, збільшена вібрація.

Протягом зміни підйомник зазнає нерівномірного виробничого завантаження та неоднакового навантаження, що залежать від:

- завантаження робочих постів;
- черговості заїздів автомобілів;
- типів виконуваних робіт на посту;
- маси і габаритів транспортних засобів (агрегатів);
- кваліфікації робітників.

Нерівномірність завантаження може призводити до пікових навантажень в окремі періоди впродовж зміни, певного періоду, сезону тощо. Тобто до перевантаження в години пік (через спроби пришвидшити роботу), тривалих простоїв між операціями, зниження продуктивності за нераціонального планування виконання робіт.

Використання робочого часу обладнання характеризується техніко-експлуатаційними показниками, наприклад – коефіцієнтом використання часу, котрий визначається типом робіт за швидкістю виконання операцій (ТО, ПР, шиномонтажні), організацією процесів робочого поста. Підйомник фактично працює лише частину часу, решта – встановлення автомобіля, ремонт транспортного засобу на підйомнику, зокрема і у вивішеному стані.

Втрати часу можуть бути спричинені неправильним позиціонування автомобіля, очікування майстра або інструменту, усунення дрібних несправностей підйомника (блокування, зависання стопорів), організаційні простой. Крім того технологічні перерви потрібні для періодичного огляду, охолодження та розвантаження елементів систем за умов тривалого інтенсивного використання.

На технологічну організацію роботи поста та на ресурс підйомника впливають логістика руху, переміщення автомобілів виробничими зонами, розташуванням технологічного обладнання тощо.

Тип робіт визначає режим експлуатації підйомника, наприклад, під час ТО чи шиномонтажу здійснюється багато циклів підйом/опускання; ремонт ходової дає тривале статичне навантаження на нього; за кузовних робіт відбувається відповідно мінімальне використання підйомника.

Технологічні аспекти експлуатації автомобільного підйомника включають циклічний характер роботи, нерівномірність виробничого завантаження, тривалість включення приводів, коефіцієнт використання робочого часу та вплив маси автомобіля на навантаження конструкції. Від правильного планування робіт, режимів навантаження та організації поста залежить

продуктивність роботи виробничого осередка підприємства, енерговитрати і ресурс основних вузлів підйомника.

Підсумовуючи розгляд аспектів, слід відмітити наявний потенційний перелік параметрів та характеристик, який можна використати для цифровізації як самого канавного підйомника, так і виробничого осередку у якому знаходиться робочий пост.

1.4 Впровадження цифрових технологій

Головна відмінність між етапами індустріалізації полягає в їх масштабі, цілях та інструментах. На основі здобутків попередніх еволюційних етапів та цифрової трансформації системи Industry 4.0 дозволяє здійснити автоматизацію та збір даних виробництва. Загалом система Industry використовує цей фундамент, щоб не просто робити існуючі процеси ефективнішими, а повністю трансформувати підприємство, створюючи нові продукти, джерела прибутку в умовах постійних технологічних змін постіндустріальної економіки.

У системах Industry X.0, де пріоритетом є гнучкість, інтегрованість і швидка реакція на зміни, застосування цих цифрових технологій стає не просто бажаним, а необхідним елементом інтелектуальної інфраструктури підприємства. Цифрові технології дозволяють зменшити витрати на експерименти, скоротити час розробки продуктів (виробів), забезпечити ефективні виробничі рішення та підтримувати стабільність процесів. Завдяки впровадженню таких технологій підприємства отримують можливість будувати гнучкі виробничі системи, здатні до адаптації та самонавчання, а також взаємодіють із людиною та автоматизованими засобами у режимі реального часу, відповідно до вимог сучасної цифрової індустрії.

У межах концепції Industry X.0 цифрові технології, стають ключовими інструментами забезпечення конкурентоспроможності та адаптивності виробничих систем. Вони дозволяють підприємствам переходити від традиційних реактивних підходів до проактивного та прогнозного управління,

використовуючи дані як основний ресурс. Цифрові моделі (ЦМ) створюють структуроване представлення об'єкта чи процесу, цифрова тінь (ЦТ) забезпечує постійний односторонній потік даних із реального середовища, а цифровий двійник (ЦД), часто створений на основі ЦМ і ЦТ формує двосторонню інтеграцію обох середовищ (реального і віртуального) з можливістю симуляцій і оптимізації об'єктів [24–34].

Для технологічного обладнання технічного обслуговування і ремонту автомобілів, у сукупності, це забезпечує поліпшення параметрів виробу, глибше розуміння стану обладнання, точне планування технологічних процесів обслуговування і ремонту та підвищення ефективності виробництва.

За Майклом Грівзом (Michael Grieves), який є автором концепції цифрових двійників, визначаються формулювання основних понять, що використовуються у цифрових технологіях [24].

Так цифрова модель (ЦМ, Digital Model) є віртуальним представленням фізичного об'єкта чи процесу, яке існує без постійного зв'язку з реальним об'єктом (рис. 1.3). Це може бути статична або частково оновлювана модель, котра використовується у проектуванні, для аналізу та документації, що не отримує автоматичних даних від фізичної системи [18, 24, 25].

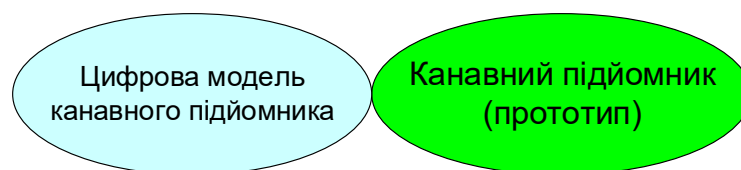


Рисунок 1.3 – Схема взаємодії цифрової моделі з фізичним об'єктом

Цифрова тінь (ЦТ, Digital Shadow) є цифровим представленням об'єкта, із одностороннім потоком даних (рис. 1.4). Фізичний об'єкт реального середовища автоматично передає інформацію у цифрову віртуальну систему. Зміни в реальному об'єкті оновлюють його цифрову версію (репрезентацію), однак цифрова тінь не має зворотного зв'язку та не впливає на фізичну систему [25-35].



Рисунок 1.4 – Схема взаємодії між фізичним об’єктом і цифровою тінню, на прикладі підйомника канавного типу

Повноцінна інтегрована пара «фізичний об’єкт – цифрова репрезентація» з двостороннім обміном даними називається «цифровим двійником» (ЦД, Digital Twin) (рис. 1.5).

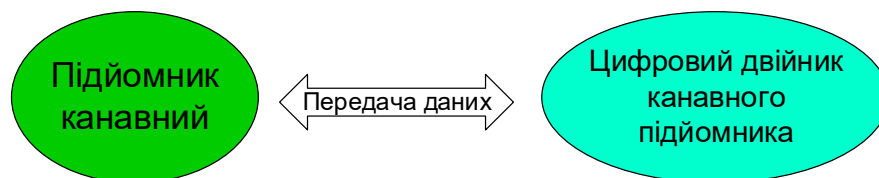


Рисунок 1.5 – Схема взаємодії фізичного об’єкта і цифрового двійника, на прикладі канавного підйомника

Як і у ЦТ зміни у фізичній системі автоматично відображаються у цифровій, а рішення або зміни, сформовані цифровим двійником на основі обробки даних чи їх аналізу, можуть зворотно впливати на реальний об’єкт. ЦД дає можливість здійснення симуляцій для прогнозування та з метою оптимізації і активного керування станом системи [26, 33–38].

1.5 Висновки до розділу

1. Застосування цифрових технологій у виробничому процесі технічного обслуговування і ремонту автомобілів на підприємствах автомобільного

транспорту зумовлене необхідністю впровадження принципів вищих рівнів індустріалізації;

2. обґрунтовано вагомість використання підйомного технологічного обладнання на робочому постові. Проаналізовано особливості конструкції і експлуатації об'єкта дослідження;

3. встановлено потребу дослідження та розробки концепції його цифрової моделі і цифрової тіні автомобільного канавного підйомника на різних етапах його життєвого циклу.

2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ КАНАВНОГО ПІДЙОМНИКА

2.1 Обґрунтування потреби у цифровій моделі автомобільного підйомника

Застосування цифрових моделей канавного підйомника, як об'єкта даного дослідження, є необхідним як на етапах проектування, так і аналізу та документування технологічного обладнання. За допомогою розроблених моделей здійснюватиметься підтримка управління життєвим циклом автомобільного підйомника (рис. 2.1).

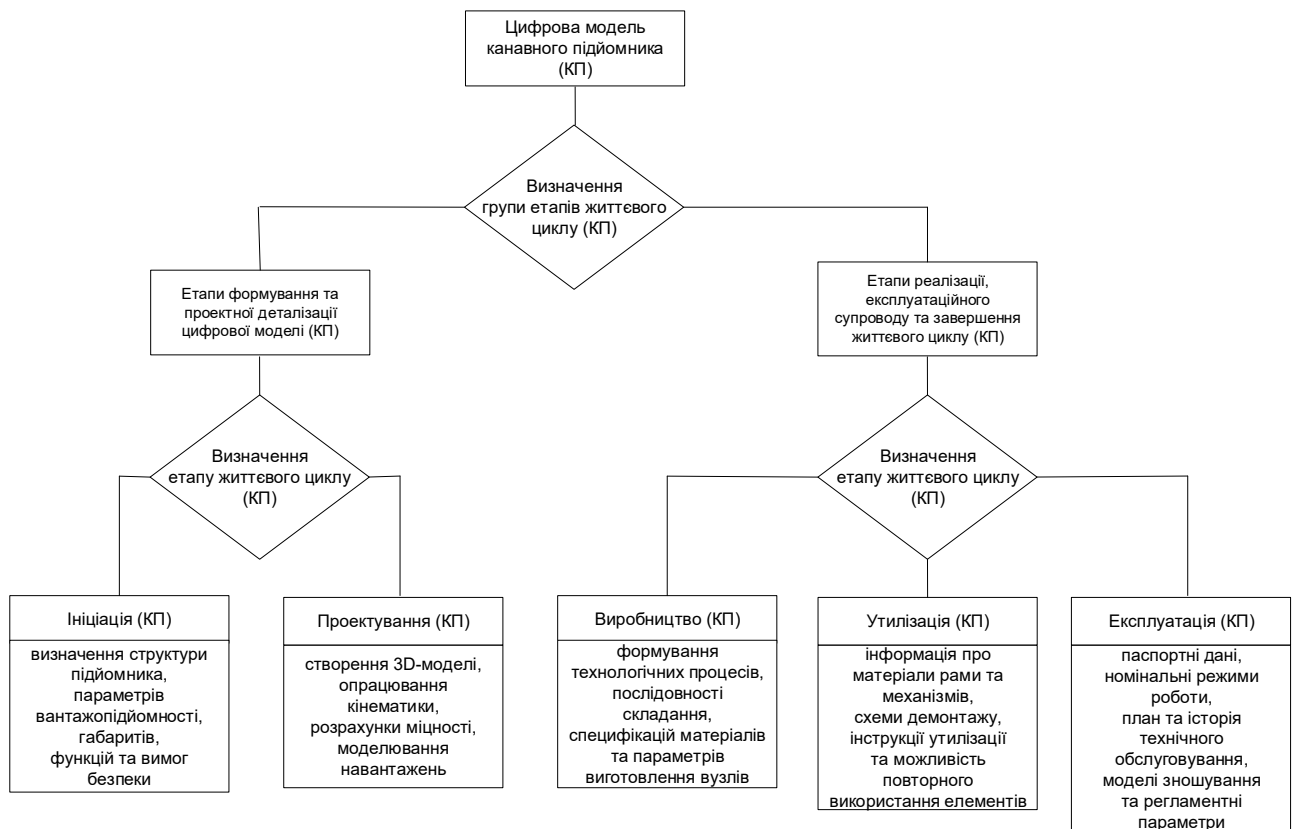


Рисунок 2.1 – Схема алгоритму формування цифрової моделі на різних етапах життєвого циклу канавного підйомника

На етапі виникнення ідеї щодо створення підйомника (ініціації) — цифрова модель містить такі елементи:

- структурна модель підйомника (кількісно визначені структури [18]);
- функціональна модель обладнання;

переліки його елементів (BOM (Bill of Materials) [39, 40] рівня концепції);
початкові параметри, вимоги, обмеження;
варіанти конфігурацій і концептуальні схеми підйомника.

Цифрова модель канавного підйомника на етапі проектування:

геометрична 3D-модель підйомника;
специфікації складових компонентів виробу;
кінематичні схеми елементів підйомника;
симуляції (навантаження, деформації, теплові режими тощо для складових і збірки);
креслення, технічні характеристики деталей і збірок пристрою;
розширений BOM (EBOM (Engineering BOM)).

Етап виробництва передбачає цифрову модель підйомника канавного типу (виробничу модель виробу). У цей період цифрова виробнича модель, виступає основою для виготовлення підйомника. Отже виробнича та технологічна цифрова модель виробу й процесів містить такі складові:

технологічна структура (mBOM – Manufacturing BOM);
складені маршрутні карти, технологічні процеси;
розраховані операційні параметри, припуски, режими обробки;
моделі складання та послідовності монтажу;
інтеграція з системами CAM [41] (керування устаткуванням);
цифрові технологічні інструкції.

Цифрова модель на етапі експлуатації – це модель властивостей, стану та історії експлуатації, котра використовується як еталон для їх контролю та аналізу:

паспортні дані та номінальні параметри підйомника;
нормативні допуски, допустимі навантаження підйомника;
історія обслуговування, ремонтів, заміни частин обладнання;
експлуатаційні характеристики (витрати, продуктивність) обладнання;
моделі старіння та деградації підйомника;
інструкції та регламенти ТО підйомного обладнання.

Наприкінці життєвого циклу, на утилізаційному етапі, застосовується цифрова модель демонтажу, матеріального складу, переробки та екологічної утилізації, що містить:

- дані про матеріали канавного підйомника;
- можливість повторного використання окремих компонентів цього виробу;
- інструкції з демонтажу обладнання;
- карти безпечної утилізації матеріалів підйомника та існуючих екологічних обмежень;
- коефіцієнти придатності до вторинного використання матеріалів.

Застосування ЦМ забезпечує інтеграцію з CAD/CAM/CAE-системами, дає можливість стандартизувати дані, створювати цифрові каталоги, виконувати техніко-економічні обґрунтування, тестувати варіанти технологічних процесів і планувань виробничих ділянок у віртуальному середовищі. Цифрова модель є важливим інструментом для зниження ризиків, підвищення ефективності та отримання достовірної основи для подальшої реалізації концепцій Industry 4.0/X.0.

2.2 Характеристика застосування цифрових моделей на прикладі етапів формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста

2.2.1 Застосування цифрової моделі на етапі формування обладнання

Відповідно до завдання роботи окреме зацікавлення викликають цифрові моделі, що застосовуються на етапах розробки та проектування. Вони дають змогу структуровано віртуально представляти об'єкт без потреби постійного зв'язку з реальним прототипом. Цифрова модель, що використовується під час проектування дозволяє проводити попереднє опрацювання конструктивних рішень, виявляти можливі помилки, аналізувати сумісність вузлів, виконувати перевірку габаритів, кінематики та ергономіки.

Для цього така модель створюється у віртуальному просторі програмних комплексів тримірного моделювання. Застосування 3D моделювання під час проектування дозволяє впроваджувати підходи висхідного та низхідного моделювання складальних одиниць та збірок (рис.2.2–2.3) [18].

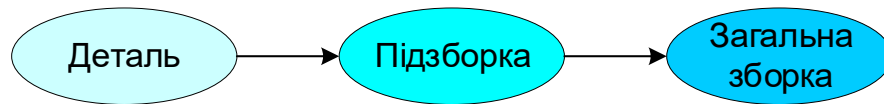


Рисунок 2.2 – Схема принципу висхідного моделювання



Рисунок 2.3 – Схема принципу низхідного моделювання

У першу чергу використання 3D моделювання візуалізує процес проектування, надаючи розробці більше ознак реального об'єкта на всіх етапах проектування. Крім того використання наявності модулів симуляції і аналізу програм тримірного моделювання дозволяє проводити кінематичний (динамічний) та силовий аналіз елементів та конструкції загалом. Наприклад, не допустити взаємопроникнення (інтерференція) тіл деталей у збірці, незакладене конструктором обмеження робочих переміщень рухомих елементів механізмів тощо. Симуляція режимів навантаження дозволяє підібрати за допустимими напруженнями, матеріали, січення, стандартні вироби тощо.

Важливою особливістю застосування цифрової моделі для проектування, є можливість спільної роботи колективу над проектом [19].

Це дає змогу зменшити витрати на фізичні макети, скоротити час розробки та підвищити якість технічної документації.

2.2.2 Застосування цифрової моделі на етапі експлуатації підйомника у виробничому середовищі

З погляду експлуатації автомобільного транспорту доцільно розглянути використання ЦМ на етапі експлуатації канавного підйомника на робочому посту виробничої зони.

Канавний підйомник є одним з елементів підйомно-транспортного обладнання, що працює в умовах виробництва ТО і ремонту автомобілів і є специфічним інструментом, що займає важливе місце для виконання технологічного процесу поряд з іншим технологічним обладнанням із аналогічними чи подібними функціями. Вимоги безпеки, значні навантаження, змінні режими роботи, висока вартість спонукають ретельніше дослідити експлуатацію канавного підйомника на робочому посту.

Використання цифрової моделі дасть можливість отримати більш об'єктивні дані ніж отримані у дослідженнях на основі суб'єктивних спостережень, моніторингу, оцінки тощо.

Розроблена модель має бути задіяна в управлінні життєвим циклом канавного підйомника на етапі експлуатації на виробництві під час технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів в умовах підприємств автомобільного транспорту.

У виробничому середовищі цифрова модель канавного підйомника стане базою для подальшої цифровізації. Вона слугує фундаментом для формування цифрової тіні, а в подальшому цифрового двійника.

2.3 Розробка концепції цифрових моделей канавного підйомника

2.3.1 Алгоритми розробки концепцій цифрових моделей на етапах формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста

Відповідно до поставлених задач дослідження розробка концепції цифрових моделей канавного підйомника відбувається за певними лінійними алгоритмами (рис. 2.4, 2.5) послідовних заходів. Процес розробки починається з

аналізу потреб і вихідних даних, продовжується створенням моделі та опрацюванням потоків інформації, завершується технічним обґрунтуванням і формуванням остаточної концепції.

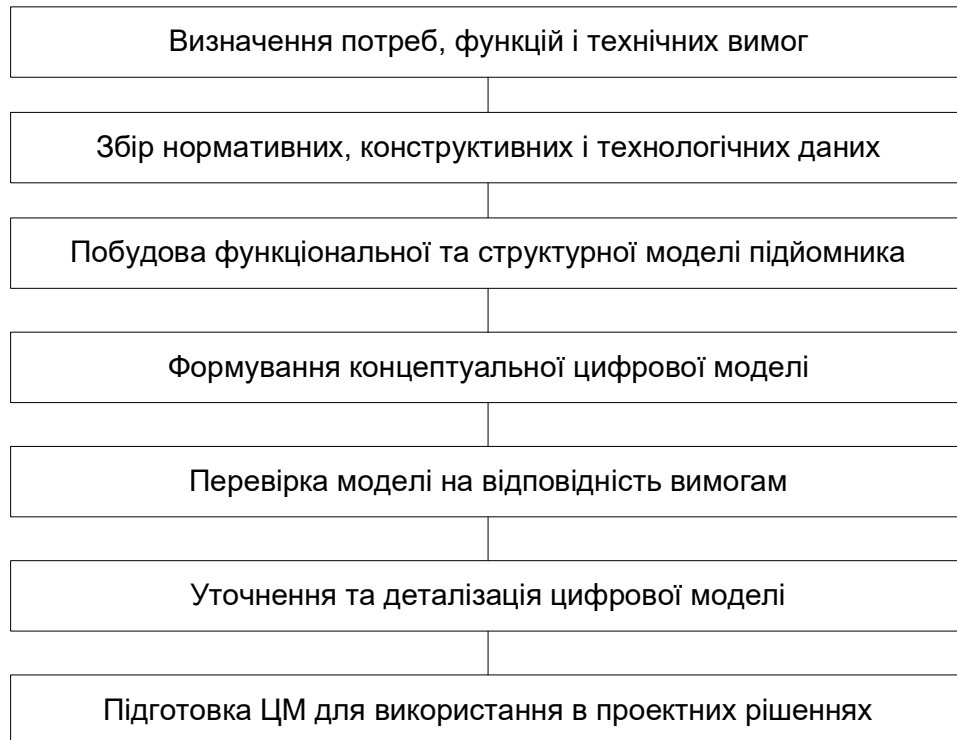


Рисунок 2.4 – Схема алгоритму розробки концепції цифрової моделі на етапі формування підйомника

Розробку концепції ЦМ на етапі формування (ініціації, проектування) підйомника можна представити у вигляді алгоритму (рис. 2.4). Для цього спочатку потрібно визначити функціональні вимоги до підйомника, умови експлуатації та накладені обмеження. Сформувати структурну модель підйомника, як виробу (склад, габарити, параметри навантаження тощо). Побудувати геометричну 3D-модель канавного підйомника та опрацювати кінематику і силові схеми. Виконати, за допомогою модулів програм 3D-моделювання розрахунки міцності, деформацій та стійкості моделі підйомника та його конструкційних елементів. Сформувати специфікації компонентів, EBOM [39] (інженерний перелік специфікацій матеріалів / Engineering Bill of

Materials) та базові креслення зборок та деталей обладнання. Узгодити модель підйомника з технологами і внести коригування за результатами проведених симуляцій. Підготувати узагальнену концепцію цифрової моделі підйомника як еталонну модель виробу.

Таким чином, концепція цифрової моделі автомобільного канавного підйомника визначає склад, структуру та параметри базового (еталонного) цифрового представлення виробу, а цифрова модель забезпечить структурований опис конструкції та функцій підйомника з можливістю автоматизованої обробки, аналізу та порівняння для прийняття проектних рішень.

Концепцію цифрової моделі на етапі експлуатації підйомника на робочому посту з виробництва ТО і ПР автомобілів можна розробити за послідовністю зазначеною на схемі (рис. 2.5).

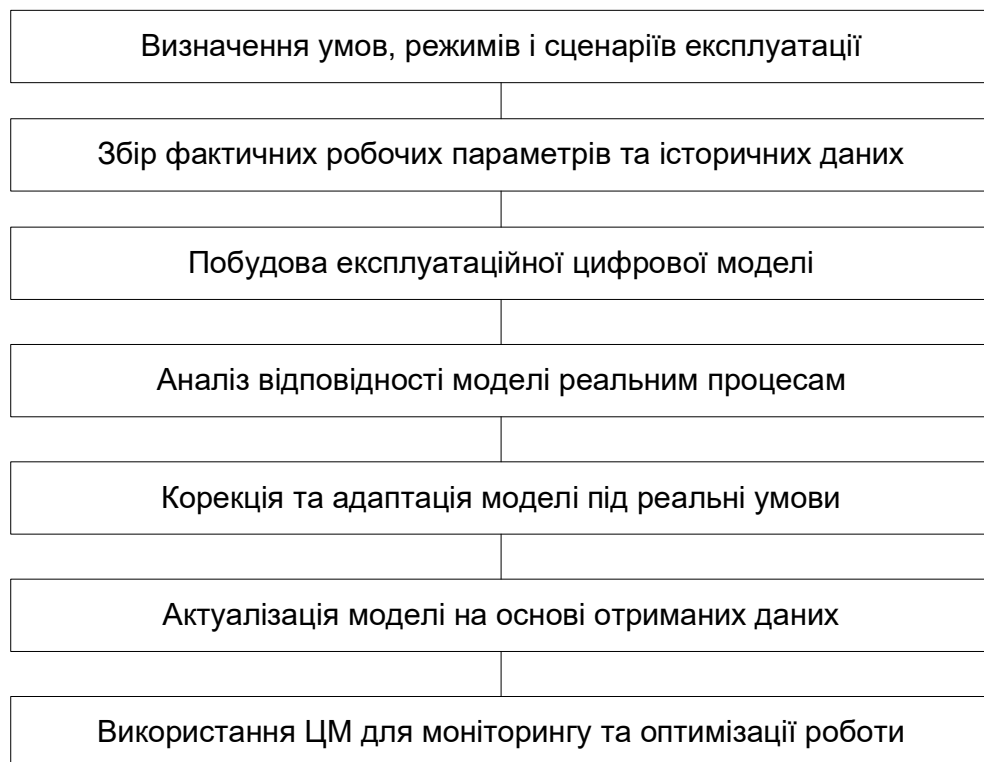


Рисунок 2.5 – Схема алгоритму розробки концепції цифрової моделі на етапі експлуатації підйомника

Для цього слід визначити експлуатаційні параметри, що мають бути відображені в цифровій моделі (вантажопідйомність, хід платформи, тиск, зношення тощо). Сформувати паспортну модель канавного підйомника з номінальними характеристиками та допустимими режимами роботи. Додати дані історії обслуговування та ремонтів, для того щоб сформувати модель стану обладнання. Визначити граничні значення величин параметрів для контролю справності та безпеки експлуатації. Побудувати моделі поведінки обладнання впродовж визначеного періоду (динамічних навантажень, старіння, деградації тощо). Узгодити структуру моделі підйомника з технологічними регламентами робочого поста. Наприкінці, сформувати концепцію цифрової моделі підйомника як еталонної моделі для контролю стану технологічного обладнання під час його роботи.

Отже, концепція цифрової моделі автомобільного канавного підйомника визначає принципи формування відповідності цифрового представлення технічній документації та регламентам, а цифрова модель забезпечить відображення номінальних параметрів, характеристик та допустимих режимів роботи для можливості контролю умов експлуатації канавного підйомника на робочому посту.

2.3.2 Розробка концепції цифрових моделей на етапах формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста

Концепція моделі на етапі формування підйомника

На основі аналізу технологічного процесу постових робіт виробничої зони для проведення ТО і ремонту автомобілів визначена потреба організації частини робіт протягом встановленого періоду на канавному посту обладнаному канавним підйомником. На основі специфіки операцій виконуваних на посту із задіянням підйомника визначаються функціональні вимоги до нього, умови експлуатації та накладені обмеження, наприклад:

- тривалість операцій: короткочасне вивішування елементів ходової частини чи тривале – для агрегатів трансмісії;
- обмеження на переміщення елементів у вертикальній і горизонтальній площинах;

- швидкість підйому тощо.

У межах прийнятих умов і обмежень формується структурна модель виробу, зокрема:

- компонентний склад канавного підйомника;
- наявність пристосувань та пристосіблень;
- габаритні розміри конструкцій та параметри навантаження відповідно до об'єктів впливу тощо.

Побудова ескізів, скелетонів, параметризованої геометричної 3D-моделі канавного підйомника на основі аналізу схем кількісно-визначених структур. За допомогою прикладних модулів кінематичних та динамічного симуляції аналізу програмного забезпечення опрацьовується кінематика і силові схеми. Виконуються розрахунки міцності, деформацій та стійкості конструкційних елементів: деталей та збірок моделі підйомника. З 3D-моделі формуються специфікації компонентів обладнання, EBOM та базові креслення зборок та деталей підйомника.

Узгоджується цифрова модель підйомника з технологіями щодо відповідності конструкторської розробки технологічним вимогам та можливостям і вносяться коригування у модель за результатами проведених симуляцій. Наприклад, для ножичного підйомника з електро-гідравлічним приводом для силового циліндра:

- оптимізується кут його встановлення;
- визначаються його довжина, зусилля на штокові;
- точки кріплення до елементів паралелограма пантографа тощо.

Отже сформована узагальнена концепція ЦМ підйомника як еталонна модель виробу і є інтегрованим, логічно обґрунтованим представленням майбутньої цифрової моделі, що описує структуру, функції, параметри та принципи роботи підйомника.

Концепція моделі на етапі експлуатації канавного підйомника на робочому посту

Виходячи з мети поліпшення використання канавного підйомника на робочому посту виробничої ділянки, визначаються експлуатаційні параметри, цифрової моделі, зокрема:

- вантажопідйомність за масою об'єкта впливу;
- хід платформи;
- допустимий тиск у гідросистемі;
- граничне зношення тощо.

Формується паспортна модель канавного підйомника, що містить номінальні характеристики та допустимі режими роботи, зокрема:

- робочий тиск гідросистеми;
- напруга живлення;
- потужність електродвигуна;
- температура (робочі показники);
- швидкість підйому опускання (регульована, не більше 60 мм/с) тощо;
- режими навантаження, часу, теплові, підйому/опускання тощо).

Додаються дані (хронологія) обслуговування та ремонтів, для того щоб сформуванню моделі стану обладнання, наприклад:

- дати і час профілактичних заходів з моменту введення в експлуатацію підйомника;
- дати і час на проведення ремонтних заходів тощо.

Визначаються граничні значення величин параметрів для контролю справності та безпеки експлуатації підйомника з врахуванням виконання канавного підйомника, наприклад:

- величина моменту у гвинтових парах;
- легкість та рівномірність ходу без підвищеного тертя і заїдань;
- люфти у з'єднаннях тощо.

На основі статистичних даних та масивів значень отриманих у результаті моделювання, будуються моделі поведінки обладнання, зокрема:

- характеристики статичних і динамічних навантажень
- криві старіння, деградації тощо.

Для того щоб точно відображати реальні умови використання підйомника в конкретному виробничому середовищі модель підйомника адаптується, а її структура узгоджується з технологічними регламентами робочого поста, тобто побудована цифрова модель канавного підйомника перевіряється на відповідність обмеженням, вимогам та правилам, відповідно до організації роботи на посту, наприклад зіставлення функцій, режимів, параметрів та послідовностей роботи підйомника, зокрема з:

- прийнятими технологічними операціями;
- нормами безпеки;
- організацією процесу обслуговування і ремонту;
- технічними обмеженнями робочого місця.

Як наслідок сформована концепція ЦМ підйомника як еталонна модель для контролю стану підйомника під час його роботи. Така концепція виступає еталонною моделлю канавного підйомника, тобто базовим цифровим описом, який є основою та орієнтиром під час розробки, аналізу, експлуатації та вдосконалення реального технологічного обладнання існуючого робочого поста.

2.4 Висновки до розділу

1. Сформовано схему алгоритму формування цифрових моделей на різних етапах життєвого циклу канавного підйомника;
2. запропоновано алгоритми розробки концепції цифрових моделей на етапах формування та експлуатації підйомника на робочому посту для технічного обслуговування і ремонту автомобілів;
3. розроблено концепцію цифрових моделей на етапах формування та експлуатації канавного підйомника робочого поста.

3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВОЇ ТІНІ АВТОМОБІЛЬНОГО ПІДЙОМНИКА РОБОЧОГО ПОСТА

3.1 Обґрунтування потреби використання та характеристика цифрової тіні канавного підйомника робочого поста

Класичні способи отримання даних у виробничих і технологічних системах ґрунтуються на періодичних вимірюваннях, ручних операціях та локальних інструментах контролю. На відміну від цього, цифрова модель та побудована на її основі цифрова тінь забезпечують структуроване, автоматизоване та безперервне надходження інформації в цифрове середовище, що значно підвищує повноту, точність і швидкість аналізу.

Цифрова тінь, що використовується під час створення обладнання на етапах проектування дозволяє проводити попереднє опрацювання конструктивних рішень та реальних характеристик роботи на виробі-прототипові з врахуванням тих чинників, котрі не враховані під час комп'ютерної симуляції.

Цифрова тінь канавного підйомника робочого поста в умовах експлуатації, котрий працює як засіб виробництва з ТО і ремонту автомобілів. Отримання і передача реальних даних дають можливість ретельніше дослідити процес експлуатації канавного підйомника та ефективність його використання у виробничому процесі на робочому посту.

Застосування цифрових тіней дозволяє отримати реальні дані з об'єкта дослідження за допомогою сигналів переданих із сенсорів фіксації зміни параметрів вимірювання величин чи станів у контрольних точках підйомника та поста. Цифрова модель тіні, також забезпечує, відтворення інформації у програмному середовищі для її візуалізації, накопичення, обробки та аналізу.

3.2 Розробка концепції цифрової тіні канавного підйомника робочого поста

3.2.1 Алгоритми розробки цифрової тіні на етапах формування та експлуатації підйомника

Розробку концепції цифрової тіні на етапі на етапі формування (ініціації, проектування) підйомника можна здійснити за зображенням схематично лінійним алгоритмом (рис.3.1).

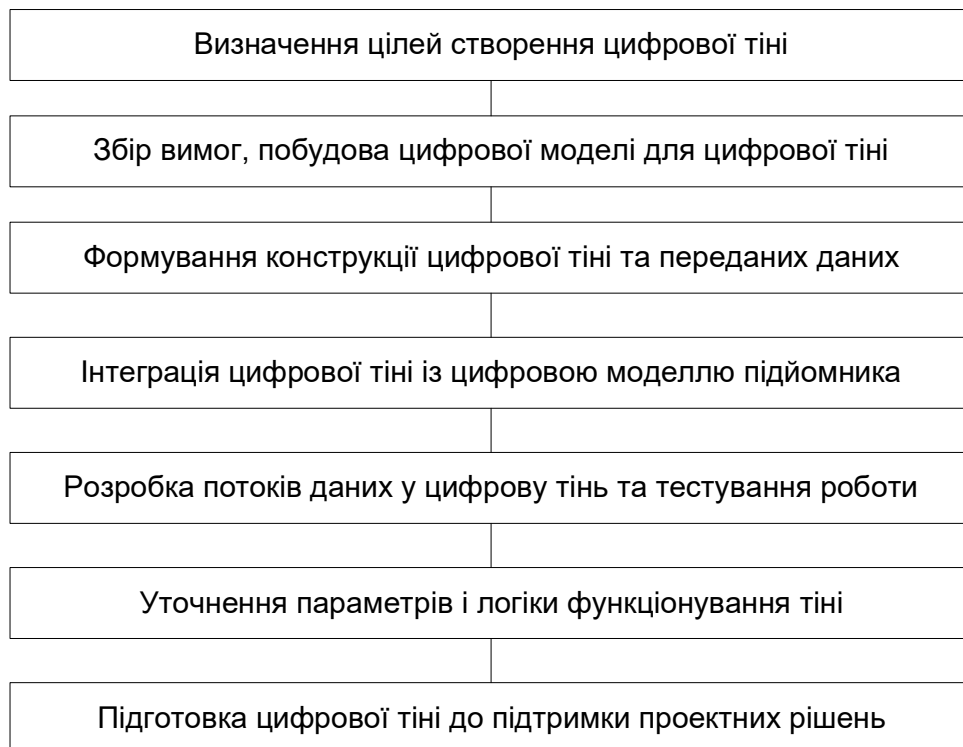


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму розробки концепції цифрової тіні на етапі формування підйомника

Для розробки концепції цифрової тіні на етапі формування підйомника потрібно визначити, які параметри конструкції та механізмів підйомника можуть бути автоматично виміряні на стадіях тестування його прототипу. Зібрати структурні та інформаційні вимоги щодо побудови ЦМ. Побудувати базову ЦМ, яка стане основою для ЦТ. Визначити точки збору даних щодо роботи канавного підйомника. Сформувати архітектуру цифрової тіні та дані, що передаватимуться. Описати односторонні потоки даних від фізичного

прототипу до цифрової моделі. Визначити інтервали, формат і методи збору тестових даних. Інтегрувати результати стендових і натурних випробувань у цифрову модель підйомника, уточнюючи її. Сформувати концепцію ЦТ як інструмента щодо можливості автоматизованого оновлення цифрових параметрів підйомника під час досліджень.

Отже, концепція цифрової тіні підйомника визначає перелік параметрів та структуру переданих даних, що потрібно автоматично зібрати, а цифрова тінь забезпечить одностороннє оновлення цифрового представлення на основі результатів фізичних вимірювань (випробувань) прототипу канавного підйомника.

Схема алгоритму розробки концепції цифрової тіні на етапі експлуатації підйомника (робота підйомника на посту ТО і ремонту) наведена на рисунку 3.2.

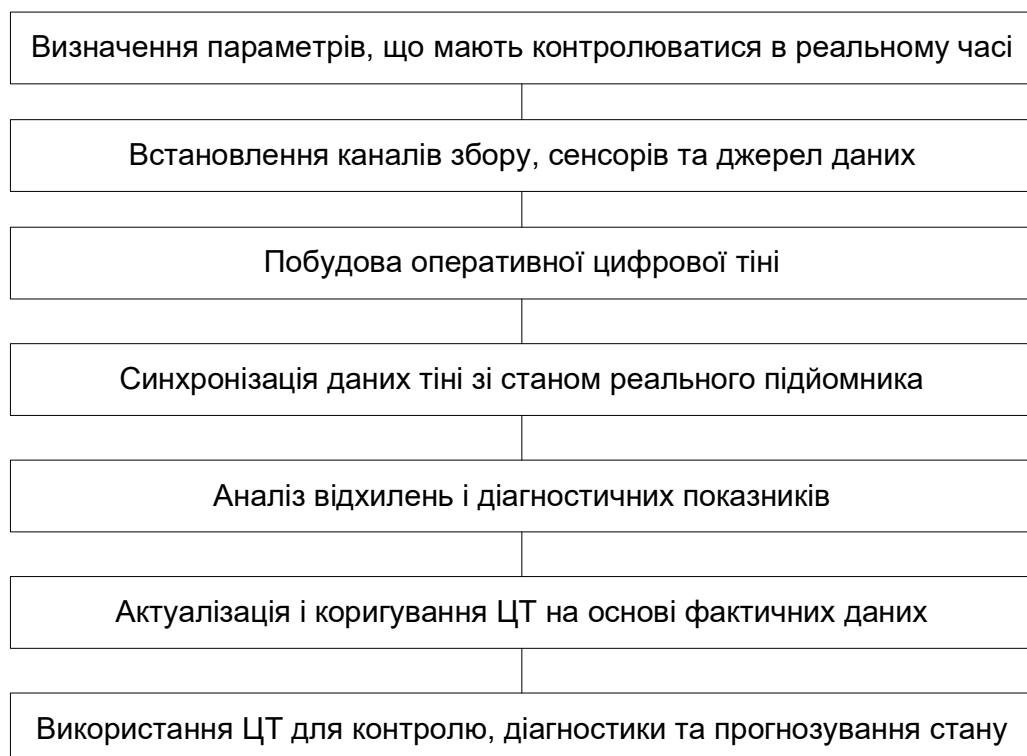


Рисунок 3.2 – Схема алгоритму розробки концепції цифрової тіні на етапі експлуатації підйомника на робочому посту

Для реалізації розробки необхідно визначити експлуатаційні параметри, які потрібно автоматично зчитувати. Визначити необхідні датчики (сенсори) та місця їх монтажу на підйомнику. Описати потоки даних у режимі реального часу від підйомника до цифрової системи. Забезпечити структуру даних, формати та інтервали їх передачі. Побудувати цифрову модель-тінь, що має автоматично оновлюватися під час роботи обладнання. Визначити алгоритми аналізу отриманих даних. На завершення, сформулювати концепцію цифрової тіні для моніторингу стану підйомника в експлуатації.

Таким чином, концепція цифрової тіні автомобільного підйомника визначає основні правила проведення моніторингу та збору експлуатаційних даних, а цифрова тінь канавного підйомника забезпечить безпосереднє актуальне цифрове представлення реальних режимів роботи технологічного обладнання.

3.2.2 Розробка концепції цифрової тіні канавного підйомника

Розробка концепції ЦТ на етапі формування підйомника (ініціація, проектування)

Визначаються параметри конструкції та механізмів, котрі можуть бути автоматично виміряні на стадіях тестування прототипу, наприклад для підйомника ножичного типу з електрогідروпроводом:

- зусилля на штокові гідроциліндра ножичного механізму;
- кут нахилу гідроциліндра (початковий, поточний);
- переміщення платформи за висотою, швидкістю піднімання тощо.

Будується базова цифрова модель, що є основою для цифрової тіні, наприклад:

- структурна модель;
- 3D-модель;
- параметрична модель.

Визначається точки збору даних, для запропонованого прикладу:

- датчики зусилля (тиску);

- переміщення;
- навантаження, швидкості тощо.

Описуються односторонні потоки даних від фізичного прототипу до цифрової моделі. Наприклад, отримані сигнали з встановлених у точках збору інформації датчиків формують масив даних у певному програмному середовищі, які автоматично (за алгоритмом) передаються до отримувача даних.

Визначається інтервали, формат і методи збору тестових даних. Так це може бути фрагментована передача даних чи безперервний потік on-line в режимі реального часу, за допомогою фізичного з'єднання від передавача до приймача, чи за допомогою засобів бездротового зв'язку.

Результати стендових і натурних випробувань об'єкта досліджень інтегруються у цифрову модель тіні, наприклад за допомогою програмного інтерфейсу передана інформація візуалізується у вигляді таблиць, графіків, тримірної моделі тощо.

На основі цього сформована концепція ЦТ як інструмента автоматизованого оновлення цифрових параметрів підйомника під час проведення досліджень (випробувань).

Розробка концепції ЦТ на етапі експлуатації підйомника на робочому посту

Визначаються експлуатаційні параметри, які потрібно автоматично зчитувати, зокрема для згаданого прикладу:

- положення елементів механізму та платформи загалом;
- навантаження та тиск у системі;
- час роботи та робочі цикли;
- вібрації, електричне навантаження тощо.

Визначаються необхідні сенсори та місця їх монтажу на підйомнику та робочому посту. Крім вище згаданих можуть використовуватися:

- тензодатчики на важелях механізмів та у місці зосереджених зусиль;
- п'єзоелементи у місці ймовірної появи вібрацій;

- датчики лінійного та кутового переміщення для фіксування положення циліндрів, опор;
- датчики положення підйомника у межах напрямних робочого поста;
- датчики стану (початкове, проміжне чи кінцеве положення, увімкнено-вимкнено, навантажено-розвантажено тощо).

Формування структури, форматів та інтервалів передачі даних, опис потоків даних у режимі реального часу від підйомника до цифрової системи аналогічній моделі описаній вище.

Однак записувати інформацію протягом восьмигодинної робочої зміни у файл безперервним потоком не доцільно. Тому організовується запис інформації фрагментами, у прив'язці до часу, про процеси, які пов'язані зі змінами стану. Одже реалізується перехід від безперервного логування до подієвого (event-based logging), тобто запис лише суттєвих змін стану, а не “порожніх” даних. За таким принципом працюють цифрові тіні у реальних виробничих середовищах та індустріальні системи моніторингу (SCADA). Побудована цифрова модель-тінь, що автоматично оновлюється під час роботи обладнання.

Визначаються алгоритми аналізу отриманих даних, наприклад:

- перевантаження;
- порушення режимів;
- передумови відмов тощо.

Сформульована концепція ЦТ для моніторингу стану підйомника в експлуатації та підтримки прийняття рішень щодо профілактичного технічного обслуговування та супровідного ремонту тощо.

Наприклад, мікроконтролерна плата Arduino, запрограмована для керування електронними пристроями може вимірювати та передавати:

- положення та висоту платформи за ультразвуковим сенсором;
- режим роботи за станом кнопок “вгору/вниз”;
- кут нахилу циліндра за сигналами з потенціометричних датчиків;
- тиск у гідросистемі з аналогового датчика тиску.

Такого типу дані надсилаються через USB або Bluetooth / Wi-Fi до персонального комп'ютера, де за допомогою програмного середовища Excel Python чи Power BI, візуалізуються значення переданої інформації – реалізується цифрова тінь канавного підйомника.

На основі отриманих даних цифрова тінь:

- візуалізує ці дані у вигляді графіків, показників, або 3D-анімації положення підйомника;
- зберігає дані у базі для аналізу історичної хронології роботи;
- порівнює фактичні показники роботи з еталонними;
- виявляє невідповідності, які можуть свідчити про відхилення, що передують розвитку несправності;
- передає інформацію у системи обліку та планування техобслуговування (CMMS (Computerized Maintenance Management System), SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [42] тощо).

3.2 Оцінювання ефективності використання технологічного обладнання за даними цифрової тіні канавного підйомника робочого поста

Ефективність використання технологічного обладнання характеризується рядом технічних, експлуатаційних, виробничих та економічних показників.

Технічні показники слугують оцінюванню відповідності обладнання технологічним вимогам і його здатність виконувати роботу (продуктивність (навантажувальна здатність, точність та стабільність роботи, енергоспоживання та енергоефективність, часові інтервали (параметри).

Експлуатаційні показники, що відображають надійність роботи і витрати на підтримання працездатності. Серед них коефіцієнт готовності, інтенсивність відмов, фактичний ресурс вузлів та їх рівень деградації (зношення), частота техобслуговувань і обсяг їх виконання.

Наприклад, коефіцієнт готовності обладнання:

$$K_z = T_{роб} / (T_{роб} + T_{прост}),$$

або

$$K_z = MTBF / (MTBF + MTTR),$$

де $T_{роб}$ – середній час роботи;

$T_{прост}$ – середній час простоїв;

$MTBF$ – середній час безвідмовної роботи;

$MTTR$ – середній час ремонту.

Виробничі показники показують, наскільки обладнання інтегроване у виробничий осередок і підтримує його процеси. Наприклад коефіцієнт використання часу:

Коефіцієнт використання змінного часу

$$K_{вик} = T_{зм} / T_{факт.роб}$$

Коефіцієнт завантаження, визначає частку часу, коли обладнання виконує операції.

$$K_{зав} = T_{опер} / T_{факт.роб}$$

У комплексі для робочого поста визначається пропускна здатність, рівень незапланованих простоїв за впливом на ритмічність поста.

Економічні показники дають змогу оцінити доцільність експлуатації технологічного обладнання. Експлуатаційні витрати та собівартість роботи, підвищення ефективності і економічний ефект від цього, терміни окупності обладнання (Payback Period).

Як загальна комплексна оцінка застосовується один з інтегральних показників: OEE (Overall Equipment Effectiveness) [43].

Класичний показник загальної ефективності обладнання OEE для підйомника:

$$OEE = A \times P \times Q,$$

A – відсоток (частка) часу, коли підйомник може працювати;

P – відповідність фактичного темпу роботи номінальному.

Q – відсоток операцій (циклів) без порушень (збоїв) у роботі.

Використання цифрової тіні забезпечує дані для статистики режимів та фактичного часу роботи обладнання, простій та відмови. Формування масиву реальних даних циклів, перемикачів, навантажень і перевантажень інших робочих параметрів з даними про причини зупинок. Це дозволяє формувати реальний ОЕЕ, аналізувати ефективність кожної зміни виявляючи вузькі місця і причини простоїв та нераціонального використання обладнання, прогнозувати потребу в обслуговуванні автомобільного підйомника.

3.3 Перспективи інтеграції цифрової моделі і цифрової тіні у структуру цифрового двійника канавного підйомника

Цифрова модель та цифрова тінь виступають складовими ланками вищого рівня – цифрового двійника (рис. 3.3).

На основі аналізу та обробки даних отриманих з цифрової моделі-тіні реалізується вплив на підйомник, як фізичний керований об'єкт, за зворотним зв'язком у замкненому контурі системи цифрового двійника.

Так, наприклад, передані дані з фізичного об'єкта до моделі цифрового двійника обробляються з метою оптимізації процесу експлуатації, що є підставою до автоматизованого прийняття рішення про коригування роботи канавного підйомника. Також на основі опрацювання даних може бути зроблений висновок про досягнення граничного стану підйомника чи його

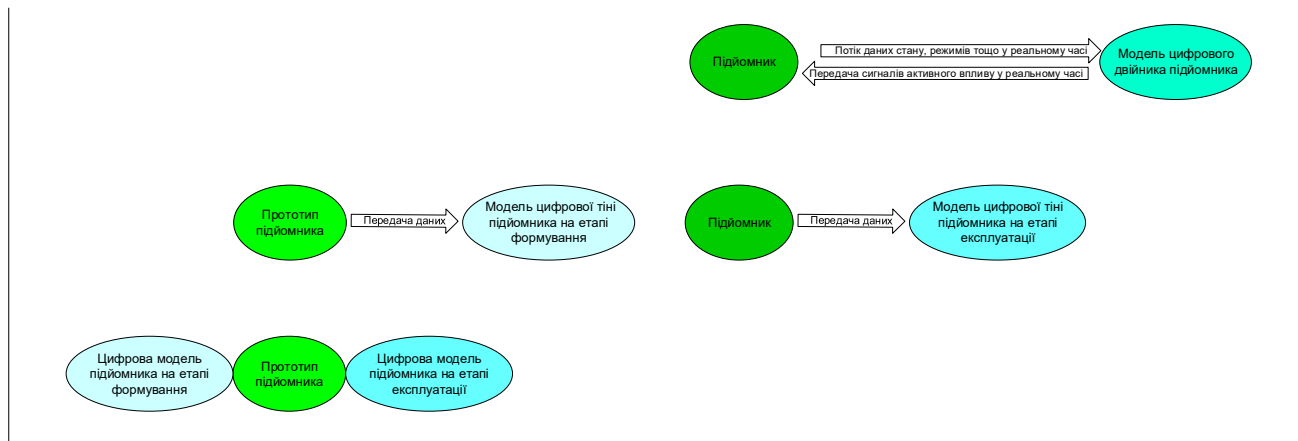


Рисунок 3.3 – Структура ієрархічного втілення цифрових технологій у цифрових представленнях канавного підйомника

елементів, потребу припинення роботи, обмеження навантаження на підйомник, чи такі елементи, з формуванням повідомлення про їх стан та здійсненням відповідних хронологічних записів в історію експлуатації підйомника чи групи пристроїв для можливості подальшого аналізу і прогнозування.

3.4 Висновки до розділу

1. Розроблено концепції формування цифрових тіней за запропонованим алгоритмом для їх використання на етапах формування та експлуатації автомобільного канавного підйомника;

2. Запропонована розробка є прикладом впровадження цифрових технологій у процес створення і експлуатації технологічного обладнання для виробничого процесу технічного обслуговування і ремонту рухомого складу на підприємствах автомобільного транспорту.

3. Розглянуто методику визначення деяких основних показників ефективності використання технологічного обладнання за даними цифрової тіні канавного підйомника робочого поста.

4. Розглянуті перспективи інтеграції цифрової моделі і цифрової тіні до цифрового двійника.

ВИСНОВКИ

1. У роботі розв'язана науково-практична задача розробки концепції формування цифрових моделей і цифрових тіней автомобільного канавного підйомника робочого поста виробничого осередку підприємства автомобільного транспорту для технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

2. Обґрунтовано потребу впровадження цифрових технологій у сферах створення і експлуатації технологічного обладнання, зокрема канавного підйомника робочого поста для технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

3. Розроблено концепції цифрових моделей і цифрових тіней автомобільного підйомника канавного типу на основі запропонованих алгоритмів для відповідних етапів життєвого циклу технологічного обладнання, а саме формування та експлуатації з врахуванням особливостей конструкції та умов його роботи.

4. Запропоновано перспективні шляхи подальшого застосування результатів отриманих з використанням цифрових моделей і тіней. Розглянуто методику визначення ряду основних показників ефективності використання технологічного обладнання, таких як коефіцієнт готовності, використання, завантаження, комплексної ефективності, за даними цифрової тіні канавного підйомника робочого поста. Наведені перспективи інтеграції цифрової моделі і цифрової тіні у структуру цифрового двійника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Динь М. Розробка концепції цифрової моделі та цифрової тіні канавного підйомника робочого поста / М. Динь // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ – 2025 р. – С. 336–337.
2. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л. Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Навчальні та кваліфікаційні роботи. Методичні вказівки до оформлення навчальних та кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів освітньо-професійних програм: «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт, спеціальностей: 274 Автомобільний транспорт, 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форм навчання / уклад. Придюк В.М., Кищун В.А., Дембіцький В.М., Павлюк В.І. Луцьк: Луцький НТУ, 2019. 56 с.
4. ДСТУ 3008-95 “Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.” Видання офіційне.– Київ: Держстандарт України, 1999. – 37с.
5. Огневий, В. О. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів: курсове проектування : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Огневий В. О., Крещенецький В. Л., Буренніков Ю. Ю. – Вінниця : ВНТУ, 2021 – 121 с. URL:

<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34298/90071.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

6. Волков В.П., Міщенко В.М., Кравченко О.П., Шаша І.К., Мармут І.А., Міщенко А.В., Байцур М.В., Сараєва І.Ю. Технологічне обладнання для підприємств автомобільного транспорту: Підручник/ Під загальною редакцією В.П. Волкова–Харків: ХНАДУ, 2010. – 556 с.
7. Червоний Б.І., Похильчук І.О. Основи проектування та експлуатації технологічного обладнання. Інтер-активний комплекс навчально-методичного забезпечення. – Рівне: НУВГП, 2007. – 194 с.
8. Лудченко О . А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.: іл.
9. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 473 с.
10. Траверса пневматична ножична посилена. [Електронний ресурс]. URL: <https://launch.ua/tpnu-420>
11. Траверса для легкових автомобілів. [Електронний ресурс]. URL: <https://prom.ua/ua/p2324487473-traversa-dlya-legkovyh.html>
12. Траверса гідравлічна. [Електронний ресурс]. URL: https://autocomplete.com.ua/ua/catalog/lifting_equipment/traverse/traversa_gidravlicheskaya_ami_j_2_0_rh/?srsltid=AfmBOopZjyxhVxEN3juwLK4kHQQoMIixOGLfT53GrP-qZU8NmakAfG6W
13. Траверса гідравлічна посилена. [Електронний ресурс]. URL: <https://launch.ua/tgu-450/?srsltid=AfmBOorlbfW5pdHl7bhA2EGCaTWUIDP-qWfGVcGudHDYcncV7pdZDQHs>
14. Траверса пневмо-гідравлічна. [Електронний ресурс]. URL: <https://launch.ua/201021526/>

15. Канавні домкрати. [Електронний ресурс]. URL:
https://autocomplete.com.ua/ua/catalog/lifting_equipment/pit_lifts/?srsltid=AfmBOorPvcoQeZnrc61-6jH9Ha9JT0vnc4UiPQRRyjCpv352aBpPrPtP
16. Канавні підіймачі та домкрати. [Електронний ресурс]. URL:
https://amtech.com.ua/uk/kanavni-pidiymachi-ta-domkraty?srsltid=AfmBOopUztypIvaYOr-0eHs75pd4i_Zxkkc_xO1HqpELy9zneHJR5I8x
17. Канавний гідравлічний домкрат. [Електронний ресурс]. URL:
<https://launch.ua/hpl-20750/>
18. Павлюк В.І., Булік Ю.В., Сітовський О.П. (2024). Проектування технологічного обладнання «низхідним» моделюванням із застосуванням скелетонів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал, 1 (22), С. 279–284. / URL:
<https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1370>
19. Булік Ю.В., Павлюк В.І. Застосування принципів «висхідного» та «низхідного» моделювання для проектування технологічного обладнання // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 88–90.
20. Guo, J., Lv, Z. Application of Digital Twins in multiple fields. Multimed Tools Appl 81, 26941–26967 (2022). URL: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12536-5>
21. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. – К.: Держнагляд – охорони праці, 2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12>
22. Безпека праці під час експлуатації автомобільних підйомників. URL:
https://pro-op.com.ua/news/2606-bezpeka-prats-pd-chas-ekspluatats-avtomoblnih-pdyomnikov?utm_source=chatgpt.com

23. MPJ Pit Jacks Original Operating Instructions. URL:
https://www.slift.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Betriebsanleitungen/02%20Hebetechnik/Grubenheber/BA550001-en.pdf?_locale=de&utm_source=chatgpt.com
24. Operating Instruction Pit lifts, suspended. URL:
https://www.mcrolls.lv/uploads/2017/01/BLITZ_GHUS4.pdf
25. ДСТУ IEC 60034-1:2019 Машини електричні обертові. Частина 1. Номінальні та робочі характеристики (IEC 60034-1:2017, IDT).
26. Grieves, Michael. (2023). Digital Model, Digital Shadow, Digital Twin.
27. Brarda, P.G., Fernandez, G., Ayala, N.F. (2026). Digital Twin, Digital Shadow or Digital Model? A Systematic Literature Review. In: Mizuyama, H., Morinaga, E., Nonaka, T., Kaihara, T., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) Advances in Production Management Systems. Cyber-Physical-Human Production Systems: Human-AI Collaboration and Beyond. APMS 2025. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 766. Springer, Cham. URL:
https://doi.org/10.1007/978-3-032-03538-7_22
28. Development of Digital Shadows for Production Control. URL:
<https://repo.uni-hannover.de/handle/123456789/11338>
<https://doi.org/10.15488/11251>
29. J. Michael, I. Koren, I. Dimitriadis, J. Fulterer, A. Gannouni, M. Heithoff, A. Hermann, K. Hornberg, M. Kröger, P. Sapel, N. Schäfer, J. Theissen-Lipp, S. Decker, C. Hopmann, M. Jarke, B. Rumpe, R. H. Schmitt, G. Schuh: A Digital Shadow Reference Model for Worldwide Production Labs. In: Internet of Production: Fundamentals, Applications and Proceedings, C. Brecher, G. Schuh, W. van der Aalst, M. Jarke, F. T. Piller, M. Padberg (Eds.), pp. 1–28, Springer, Jun. 2023.
30. Design Model for the Digital Shadow of a Value Stream. Systems 2024 , 12 (1), 20. URL: <https://doi.org/10.3390/systems12010020>

31. SCHUH, Günther, et al. Development of digital shadows for production control. In: Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2021. Hannover: publish-Ing., 2021.
32. SCHUH, Günther, et al. Building Digital Shadows for Production Control. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. p. 110-117.
33. Grieves, M. (2024). Intelligent digital twins and the development and management of complex systems: [version 1; peer review: 4 approved]. Digital Twin, 1(1). <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17574.1>
34. Pronost, G., Mayer, F., Camargo, M., & Dupont, L. (2024). Digital Twins along the product lifecycle: A systematic literature review of applications in manufacturing: [version 2; peer review: 2 approved, 2 approved with reservations]. Digital Twin, 1(2). <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17807.2>
35. BRAUN, Stefan, et al. Engineering digital twins and digital shadows as key enablers for industry 4.0. In: Digital transformation: core technologies and emerging topics from a computer science perspective. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2023. p. 3-31.
36. Aurich, J. C., Mertes, J., Wagner, M., Schmitz, M., Klar, M., & Ravani, B. (2025). Digital twins in manufacturing: a taxonomy for manufacturing applications. Digital Twin, 2(1). <https://doi.org/10.1080/27525783.2025.2496645>
37. Digital Twin and Smart Manufacturing in Industries: A Bibliometric Analysis with a Focus on Industry 4.0. URL: <https://doi.org/10.3390/s22041388>
38. Сітовський О.П., Булік Ю.В., Дембіцький В.М., Павлюк В.І Дослідження конструкцій автомобілів з використанням програмного забезпечення тримірного моделювання. Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали Шостої всеукр. наук.-прак. конф. (м. Луцьк, 26-27 черв. 2020 р.). Луцьк, 2020. – С. 129–130.
39. Специфікація матеріалів (BOM) – визначення, приклад, типи та переваги. URL: <https://azbyka.com.ua/uk/spetsifikatsiya-materialov/>

40. Creating and Updating the Manufacturing BOM (mBOM). URL: <https://www.ptc.com/en/technologies/plm/bill-of-materials/mbom>
41. What is CAM? . URL: <https://www.mastercam.com/news/blog/what-is-cam/>
42. Системи візуалізації (SCADA) <https://svaltera.ua/catalog/scada/>
- 43 Overall Equipment Effectiveness, OEE <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/oeo>