

ДОДАТОК А
Апробація кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України



NURE

Харківський національний університет
радіоелектроніки

ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2025

(Випуск 1)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mechatroniki-kitam>



<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2025

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2025

(Випуск 1)

[електронне видання]

Харків 2025

- Головний редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету
Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».
Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.
Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».
Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, декан факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Свєтєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 1. – 262с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2025 Part 1 (Key infrastructure 2025) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2025. – 262p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматика і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 5 від 22 травня 2025

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2025 рік

УДК 621

СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДАНИХ

Шаталюк Р.Р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Анотація: У статті розглядаються сучасні підходи до прогнозування відмов обладнання на основі аналізу експлуатаційних даних. Досліджено методи збору та обробки даних з датчиків, що контролюють критичні параметри роботи технічних систем. Проаналізовано використання статистичних методів, алгоритмів машинного навчання та технологій обробки великих даних для виявлення закономірностей і передбачення можливих несправностей. Особливу увагу приділено застосуванню нейронних мереж, рекурентних моделей та методів кластеризації для підвищення точності прогнозування.

Ключові слова: прогнозування відмов, експлуатаційні дані, машинне навчання, нейронні мережі, обробка великих даних, технічне обслуговування, автоматизовані системи.

PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS BASED ON OPERATIONAL DATA ANALYSIS

Shataliuk R.R.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave., 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Annotation: The article examines modern approaches to predicting equipment failures based on operational data analysis. Methods for collecting and processing data from sensors monitoring critical parameters of technical systems are explored. The use of statistical methods, machine learning algorithms, and big data processing technologies for identifying patterns and predicting potential failures is analyzed. Special attention is given to the application of neural networks, recurrent models, and clustering methods to improve forecasting accuracy.

Key words: failure prediction, operational data, machine learning, neural networks, big data processing, maintenance, automated systems.

У сучасному промисловому виробництві надійність і безперебійність роботи обладнання відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності технологічних процесів. Відмова обладнання може спричинити значні фінансові втрати, зниження продуктивності та порушення технологічного циклу. Тому важливим завданням є розроблення ефективних методів прогнозування відмов з використанням аналізу експлуатаційних даних.

Актуальність дослідження обумовлена зростаючою складністю технічних систем та необхідністю їхньої безперервної діагностики. Традиційні підходи до технічного обслуговування (ТО), такі як планово-попереджувальне ТО, не завжди є ефективними, оскільки базуються на середньостатистичних даних про термін служби компонентів і не враховують реальний стан обладнання. Альтернативою є системи прогнозного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM), що використовують методи аналізу експлуатаційних даних для передбачення можливих відмов та оптимізації графіків ТО.



Рисунок 1 – Сучасний виробничий цех з обладнанням

Прогнозування відмов обладнання є одним із ключових завдань в області управління технічним обслуговуванням та ремонтом (ТОiP). Ефективність цього процесу визначає безперебійність роботи промислових систем, оптимізацію витрат на обслуговування та підвищення рівня безпеки експлуатації технологічного обладнання. У науковій літературі існує кілька концептуальних підходів до прогнозування відмов, які розрізняються за методами аналізу даних, рівнем точності та сферою застосування[1].

Традиційні методи прогнозування відмов базуються на статистичних та емпіричних моделях, що визначають закономірності у процесах деградації компонентів. Одним із найпоширеніших підходів є використання методів надійності, що ґрунтуються на ймовірнісному аналізі, який дозволяє оцінювати середній час до відмови (Mean Time to Failure, MTTF) та середній час між відмовами (Mean Time Between Failures, MTBF)[2]. Такі методи передбачають аналіз історичних даних про відмови компонентів і дають змогу будувати математичні моделі, що дозволяють прогнозувати майбутні збої. Проте вони не завжди є точними, оскільки не враховують поточний стан обладнання та зміни експлуатаційних умов.

На додаток до ймовірнісних моделей у традиційних підходах широко використовуються моделі деградації, які описують поступове зношення механічних або електронних компонентів. Такі моделі базуються на фізичних закономірностях та експлуатаційних характеристиках обладнання. Вони дозволяють оцінити рівень зношення на основі вимірювань параметрів, що змінюються з часом, таких як вібрація, температура, електричні характеристики тощо. Однак головним недоліком цього підходу є необхідність детального знання фізичних процесів, що відбуваються в обладнанні, а також необхідність розробки індивідуальних моделей для кожного типу пристроїв.

Останнім часом набувають популярності сучасні методи прогнозування відмов, які використовують аналіз великих масивів експлуатаційних даних та алгоритми штучного інтелекту. Одним із ключових напрямів є застосування машинного навчання, що дозволяє виявляти приховані закономірності та тенденції у даних, які неможливо ідентифікувати традиційними методами. Використання нейронних мереж, дерев рішень, методів кластеризації та інших алгоритмів дозволяє підвищити точність прогнозування та адаптувати моделі до змінних умов експлуатації. Особливо ефективними є підходи, що поєднують глибоке навчання (Deep Learning) та методи аналізу часових рядів, що дає можливість передбачати майбутні відмови на основі аналізу динаміки змін параметрів обладнання.



Рисунок 2 – Диспетчерський центр управління виробничими процесами

Ще одним перспективним напрямом є гібридні методи прогнозування, які поєднують елементи статистичного аналізу, фізичних моделей та штучного інтелекту. Такі методи дозволяють отримувати більш точні прогнози завдяки комбінуванню різних підходів та врахуванню як історичних даних, так і поточних експлуатаційних показників[3]. Гібридні системи можуть адаптуватися до різних типів обладнання та умов експлуатації, що робить їх універсальним інструментом для прогнозного обслуговування.

Окремої уваги заслуговує використання Інтернету речей (IoT) у процесах прогнозування відмов. Завдяки впровадженню датчиків, що безперервно збирають інформацію про стан обладнання, можливо в режимі реального часу оцінювати ризики виникнення несправностей. Використання IoT у поєднанні з хмарними технологіями та штучним інтелектом дозволяє створювати масштабовані системи прогнозного обслуговування, що здатні оперативно аналізувати великі обсяги даних та автоматично приймати рішення щодо необхідності проведення ремонтних робіт[4].

Прогнозування відмов обладнання ґрунтується на детальному аналізі експлуатаційних даних, що дозволяє ідентифікувати закономірності та виявляти потенційні ризики несправностей[5]. Дані збираються з різних сенсорів, що контролюють критичні параметри, такі як температура, вібрація, тиск, електричне навантаження та інші характеристики. Аналіз цих даних допомагає розробити ефективні моделі прогнозування, що сприяють оптимізації технічного обслуговування та зниженню ризиків аварійних ситуацій.

Класичні статистичні методи, зокрема регресійний аналіз, ймовірнісні розподіли та кореляційний аналіз, дозволяють визначити основні залежності між параметрами роботи обладнання та ймовірністю його виходу з ладу. Вони дають змогу розраховувати середній час до відмови та будувати математичні моделі, що передбачають можливі несправності. Проте такі методи мають певні обмеження, оскільки вони не завжди враховують складні нелінійні взаємозв'язки між експлуатаційними характеристиками.

Машинне навчання значно покращує точність прогнозування завдяки здатності алгоритмів аналізувати великі обсяги даних та виявляти приховані патерни. Нейронні мережі, зокрема глибокі (Deep Learning) та рекурентні (Long short-term memory), ефективно працюють із часовими рядами, дозволяючи прогнозувати тенденції змін параметрів обладнання[6]. Методи кластеризації та аномального виявлення, такі як Principal Component Analysis (PCA) та

DBSCAN, використовуються для ідентифікації відхилень у роботі систем, що можуть вказувати на наближення відмови.

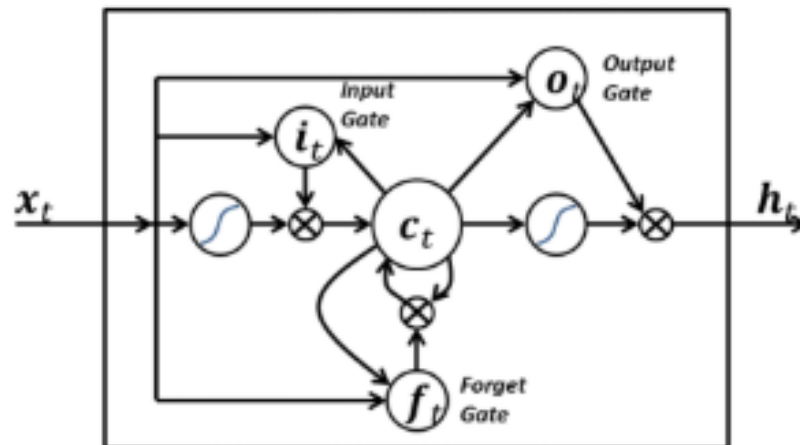


Рисунок 3 – Простий приклад нейронної мережі LSTM

Розвиток технологій обробки великих даних (Big Data) дозволяє інтегрувати інформацію з численних джерел та проводити аналіз у реальному часі. Це особливо важливо для складних виробничих процесів, де велика кількість обладнання працює в різних умовах експлуатації. Використання хмарних платформ та розподілених обчислень сприяє ефективній обробці даних, що забезпечує високу швидкість та точність прогнозування.

Гібридні моделі, які поєднують статистичні методи, машинне навчання та фізичні моделі зношення обладнання, дозволяють отримати найбільш точні прогнози. Наприклад, поєднання фізичних моделей деградації матеріалів із алгоритмами глибокого навчання забезпечує комплексний підхід до аналізу технічного стану обладнання[7].

Окрім цього, використання згорткових нейронних мереж (CNN) у поєднанні з системами комп'ютерного зору відкриває можливості для автоматичного моніторингу стану обладнання через аналіз візуальних даних. Це дає змогу виявляти мікроскопічні дефекти, що можуть спричинити відмову, ще на ранніх стадіях їхнього розвитку.

Застосування сучасних методів машинного навчання, зокрема глибоких нейронних мереж, алгоритмів кластеризації та аномального виявлення, значно підвищує точність прогнозування. Використання рекурентних нейронних мереж (LSTM) дає змогу аналізувати часові ряди експлуатаційних параметрів, що дозволяє ідентифікувати ранні ознаки відмов. Крім того, впровадження технологій обробки великих даних (Big Data) та хмарних обчислень забезпечує ефективну інтеграцію та аналіз інформації в режимі реального часу[8].

Розвиток гібридних моделей, що поєднують фізичні, статистичні та машинні методи прогнозування, відкриває нові можливості для підвищення надійності та ефективності технічного обслуговування обладнання. Інтеграція таких підходів у промислові автоматизовані системи сприяє мінімізації простоїв, зниженню витрат на ремонт та покращенню загальної продуктивності виробництва.

Таким чином, впровадження інтелектуальних методів аналізу експлуатаційних даних є важливим напрямом розвитку систем управління технічним обслуговуванням, що дозволяє підвищити рівень автоматизації та адаптивності сучасних виробничих підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Невлюдов, І.Ш.. Інтелектуальне проектування технологічних процесів роботизованого складання [Текст]/І.Ш. Невлюдов, А.М. Цимбал, С.С. Мілютіна. - Харків: НТМТ, 2010. - 206 с.
2. Бондаренко, В.В.. Методи та системи діагностики технічного стану обладнання [Текст] / В.В. Бондаренко, О.О. Ковальчук. – Київ: Наукова думка, 2015. – 312 с.
3. Семенов, В.П.. Прогнозування відмов технічних систем [Текст] / В.П. Семенов, М.Г. Романенко. – Львів: Політехніка, 2018. – 275 с.
4. Корольов, Д.С.. Машинне навчання у промислових додатках [Текст] / Д.С. Корольов. – Одеса: Техносфера, 2020. – 198 с.
5. Smith, J.. Predictive Maintenance and Machine Learning [Text] / J. Smith, R. Anderson. – New York: Springer, 2019. – 350 p.
6. Коваленко, О.Ю.. Аналіз експлуатаційних даних у системах технічного обслуговування [Текст] / О.Ю. Коваленко. – Дніпро: Ліра, 2017. – 256 с.
7. Murphy, K.P.. Machine Learning: A Probabilistic Perspective [Text] / K.P. Murphy. – Cambridge: MIT Press, 2012. – 1104 p.
8. Грищенко, Л.М.. Алгоритми нейронних мереж у прогнозуванні стану обладнання [Текст] / Л.М. Грищенко, С.В. Андрієнко. – Харків: НТУ "ХПІ", 2021. – 229 с.
9. Vladyslav, Y., & Bronnikov, A. (2020, October). ANALYSIS OF THE CMMI MODEL APPLICATION FOR SOLVING THE TASKS OF CPPS CONTROL PROCESSES AUTOMATION DEVELOPMENT. In The 4 th International scientific and practical conference "Actual trends of modern scientific research"(October 11-13, 2020) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2020. 386 p. (p. 128).
10. Yevsieiev, V. V., & Bronnikov, A. I. (2020). Development of databases interconnection "essences" information model for cyber-physical production systems additive cyber design creation automation. Збірник Наукових Праць НУК, №3. С.56-62. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).7](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).7)
11. Yevsieiev V., Bronnikov A. Information systems development methodologies application analysis for cyber-physical production systems development. III International scientific-practical conference "Theory, science and practice" (Japan, Tokyo, 5–8 October 2020). P. 398–401. DOI: 10.46299/ISG.2020.II.III
12. Yevsieiev V., Bronnikov A. Analysis of the cyber-physical production systems implementation impact to achieve the goals of lean production. The IIth International scientific and practical conference «Development of scientific and practical approaches in the era of globalization» (USA, Boston, 28–30 September. 2020). P.221–226. DOI:10.46299/ISG.2020.II.II.
13. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
14. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

Науковий керівник: *Бронніков Артем Ігорович, доц., к.т.н., доцент кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки.*

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕМОНТОМ ОБЛАДНАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ: СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА ВИМОГИ ДО ДОДАТКІВ

Шаталюк Р.Р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Анотація: Теза розглядає проектування автоматизованої системи управління технічним обслуговуванням обладнання на підприємстві. Описуються основні функціональні можливості мобільного додатку, такі як реєстрація користувачів, розподіл завдань, створення заявок на ремонт, відстеження статусу робіт, сповіщення та прогнозування несправностей. Зазначено важливість інтеграції інтерфейсу для обліку запчастин та аналізу ефективності, що дозволяє підвищити надійність і знизити витрати на обслуговування.

Ключові слова: автоматизована система, обслуговування обладнання, технічне обслуговування, ремонт, прогнозування несправностей.

EQUIPMENT MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS IN ENTERPRISES: MODERN SOLUTIONS AND APPLICATION REQUIREMENTS

Shataliuk R.R.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave., 14

E-mail: ruslan.shataliuk@nure.ua

Annotation: This thesis discusses the design of an automated equipment maintenance management system for enterprises. It outlines the key functional capabilities of a mobile application, such as user registration, task distribution, creation of repair requests, tracking work status, notifications, and fault prediction. The importance of integrating an interface for spare parts inventory management and performance analysis is emphasized, which enhances reliability and reduces maintenance costs.

Key words: automated system, equipment maintenance, technical maintenance, repair, fault prediction.

Технічне обслуговування обладнання є важливим елементом для забезпечення безперебійної роботи підприємства та підтримання технічного стану обладнання на високому рівні. У літературі виділяються кілька основних видів обслуговування, кожен з яких має свої особливості та переваги.

Планове технічне обслуговування (ПТО) включає в себе регулярні перевірки та профілактичні роботи, які здійснюються за заздалегідь визначеним графіком. Це дозволяє знизити ризик виникнення поломок і зупинок обладнання, що в свою чергу підвищує ефективність виробничих процесів. ПТО дозволяє своєчасно виявляти зношені деталі та здійснювати їх заміну.

Несправне обслуговування відбувається в разі виникнення поломки або несправності обладнання. Це обслуговування здійснюється на основі фактичного стану техніки, часто за допомогою діагностичних систем, що дозволяють визначити точну причину поломки та оперативно її усунути. Такий підхід є більш витратним, оскільки поломки можуть спричинити незаплановані зупинки та ремонти[1].

Прогнозне обслуговування застосовує методи аналізу даних для передбачення майбутніх несправностей обладнання. Цей вид обслуговування дозволяє не тільки реагувати на існуючі

поломки, а й запобігати їм шляхом своєчасної заміни деталей або проведення профілактичних заходів. Зазвичай для цього використовуються різні методи моніторингу та аналітики, що дозволяють прогнозувати можливі відмови на основі зібраних даних.

Автоматизація технічного обслуговування обладнання є важливим напрямом у сучасному виробництві, що дозволяє підвищити ефективність, знизити витрати та покращити управлінські процеси. Впровадження автоматизованих систем дозволяє значно полегшити моніторинг, планування та управління технічним обслуговуванням, знижуючи ймовірність помилок і затримок.

Автоматизовані системи управління технічним обслуговуванням (АСУ ТО) включають програмне забезпечення, яке допомагає підприємствам відстежувати технічний стан обладнання, планувати ремонтні роботи, автоматично відслідковувати виконання завдань і генерувати звіти[2]. Такі системи можуть містити модулі для планування технічного обслуговування, реєстрації несправностей, ведення журналу робіт, а також для обробки заявок на ремонт.

Приклади таких систем включають SAP PM (для управління активами та обслуговуванням), IBM Maximo (популярна система для управління об'єктами та технічним обслуговуванням), Microsoft Dynamics (яка включає модулі для управління технічним обслуговуванням і виробничими процесами)(рис. 1). Вони дозволяють організувати комплексний підхід до обслуговування обладнання і гарантують, що всі дії проводяться згідно з графіком і планом, що значно знижує ймовірність пропуску важливих операцій.

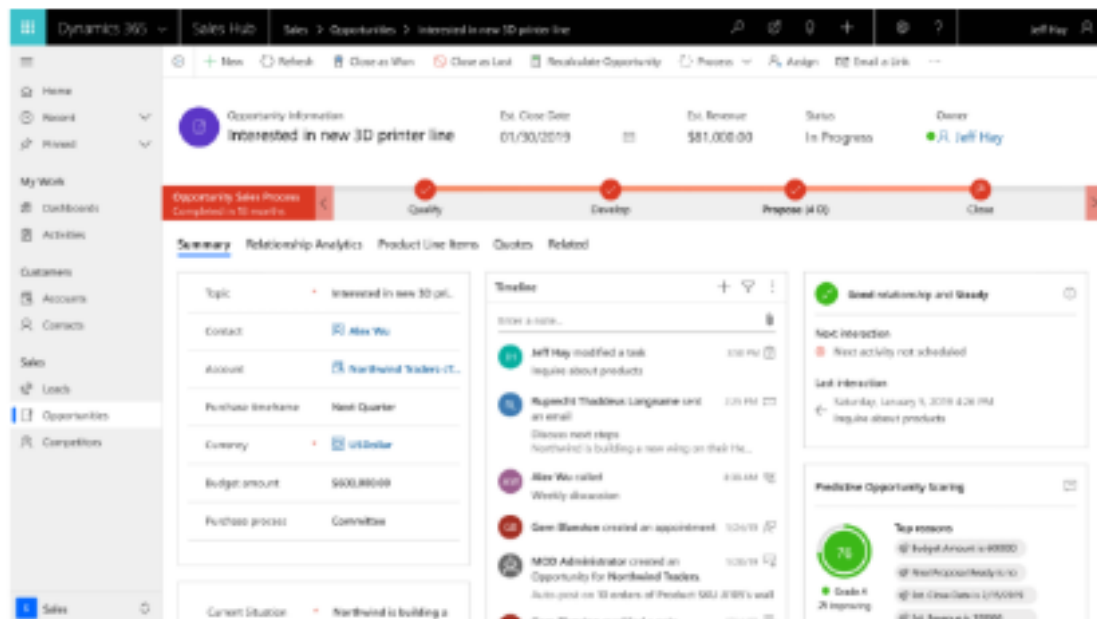


Рисунок 1 – Microsoft Dynamics система для управління технічним обслуговуванням

Автоматизація обслуговування обладнання також включає інтеграцію сучасних інформаційних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) та хмарні обчислення, для покращення точності та своєчасності обслуговування[3]. За допомогою IoT можна створити систему, яка збирає дані з сенсорів на обладнанні (температура, вібрація, тиск тощо) в реальному часі, що дозволяє здійснювати моніторинг стану техніки без необхідності фізичного втручання. Це дає змогу своєчасно реагувати на будь-які зміни і попереджати можливі поломки.

Хмарні технології дозволяють зберігати великі обсяги даних і забезпечують віддалений доступ до них, що є важливим для підприємств з розгалуженою мережею або мобільними бригадами технічного обслуговування. Вони також дають можливість інтегрувати різні підсистеми обслуговування в єдину інформаційну платформу.

Сучасні технології активно змінюють підходи до обслуговування обладнання, і новітні інновації відкривають нові можливості для прогнозування, моніторингу та оптимізації процесів обслуговування. Зокрема, це стосується впровадження таких технологій, як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), великі дані (Big Data) та автоматизація на основі машинного навчання.

Інтернет речей (IoT) дозволяє обладнанню «спілкуватися» з іншими пристроями та системами, збираючи інформацію про його стан у реальному часі. Це дає змогу проводити моніторинг параметрів, таких як температура, вібрація, тиск, рівень зносу тощо, без необхідності постійного фізичного контролю. Інтеграція IoT у системи управління технічним обслуговуванням допомагає виявляти потенційні несправності ще на етапі їх формування, що дозволяє запобігти серйозним поломкам та знизити витрати на ремонти.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання активно використовуються для аналізу великих масивів даних, що збираються з обладнання, для прогнозування ймовірності поломок. Використовуючи алгоритми машинного навчання, можна побудувати моделі, які передбачають терміни несправностей або визначають оптимальні моменти для проведення профілактичного обслуговування. Це допомагає знизити непотрібні витрати на неефективні ремонти та зменшити час простоїв[4].

В майбутньому можна очікувати подальшої інтеграції таких технологій, як автоматизовані системи обслуговування, що базуються на даних з IoT, та системи, що здатні самостійно діагностувати та навіть самовідновлювати обладнання за допомогою передових алгоритмів. Такі системи не лише допомагають зменшити залежність від людського фактора, а й дозволяють підприємствам забезпечити безперервність виробничого процесу з мінімальними витратами часу та ресурсів.

Важливим аспектом є впровадження інтелектуальних систем для управління технічним обслуговуванням, що дозволяють оптимізувати процеси без втручання людини. Автоматизація таких процесів дає змогу значно знизити час на діагностику та планування ремонту, а також зменшити витрати на людські ресурси, підвищуючи точність і своєчасність виконання робіт[5].

Ці технології, разом із постійним розвитком обробки даних і аналітики, можуть привести до створення нових підходів до обслуговування обладнання, де система буде не лише моніторити стан техніки, але й самостійно здійснювати необхідні заходи для підтримки її працездатності.

Для забезпечення безпеки та правильного доступу до системи необхідно впровадити реєстрацію та авторизацію користувачів з розподілом функціональних можливостей між різними акторами – працівниками та ремонтниками[6]. Це дозволить забезпечити доступ лише авторизованим користувачам, що необхідно для захисту конфіденційної інформації та управління завданнями. Реєстрація та авторизація повинні включати можливість зміни паролів та перевірки даних.

Ефективне виконання завдань потребує реалізації функції розподілу завдань, яка дозволить вручну або автоматично призначати заявки на ремонт працівникам або бригадам з урахуванням їх кваліфікації та доступності. Працівники повинні мати можливість подавати заявки на ремонт обладнання, описуючи проблему, прикріплюючи фото та інші деталі, що спростить діагностику та прискорить процес реєстрації несправностей.

Для контролю за процесом ремонту необхідно реалізувати функцію відстеження статусу заявок, яка дозволить користувачам бачити поточний стан заявки та автоматично оновлювати

її після виконання етапів робіт. Сповіщення про нові завдання або термінові ремонти будуть надходити через електронну пошту або додаток, що забезпечить ефективну комунікацію між користувачами[7].

Важливою функцією є ведення журналу виконаних робіт, що дозволить зберігати записи про ремонти та технічне обслуговування обладнання для подальшого аналізу та планування. Крім того, для зручності діагностики несправностей додаток повинен дозволити додавати фото та опис проблем до кожної заявки.

Наявність бази даних про обладнання підприємства з технічними характеристиками дозволить швидко отримувати необхідну інформацію про кожен пристрій. Автоматичні нагадування про профілактичне обслуговування на основі графіків або стану обладнання допоможуть своєчасно проводити необхідні ремонти.

Для покращення комунікації між співробітниками та ремонтниками можна впровадити функцію чату, що дозволить оперативно обговорювати деталі виконання завдань. Генерація звітів про стан обладнання, виконані роботи та витрати на обслуговування дозволить керівництву приймати обґрунтовані рішення. Модуль аналітики надасть дані про ефективність робіт, частоту поломок та допоможе оптимізувати витрати на обслуговування[8].

Для зниження ймовірності непередбачених поломок можна впровадити систему автоматичного прогнозування несправностей на основі аналізу попередніх ремонтів та технічних характеристик. Розмежування обладнання за цехами або категоріями дозволить ефективно організувати управління та обслуговування, що підвищить ефективність роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Невлюдов, І.Ш.. Інтелектуальне проектування технологічних процесів роботизованого складання [Текст]/І.Ш. Невлюдов, А.М. Цимбал, С.С. Мілютіна. - Харків: НТМТ, 2010. - 206 с.
2. Мельник, О. С., Студеник, В. В. Системи автоматизації та управління виробничими процесами [Текст] / О. С. Мельник, В. В. Студеник. - К.: Вища школа, 2017. - 320 с.
3. Сидоренко, А. В., Іванова, Ю. І. Інтелектуальні системи та технології для обслуговування обладнання підприємства [Текст] / А. В. Сидоренко, Ю. І. Іванова. - Дніпро: ДНУ, 2018. - 245 с.
4. Коваленко, А. М. Управління технічним обслуговуванням обладнання на підприємствах [Текст] / А. М. Коваленко. - Харків: ХНУ, 2020. - 210 с.
5. Шмідт, В. П., Котик, В. П. Методи прогнозування несправностей обладнання [Текст] / В. П. Шмідт, В. П. Котик. - Київ: Наукова думка, 2019. - 215 с.
6. Бойко, М. О. Основи технічного обслуговування обладнання [Текст] / М. О. Бойко. - Львів: ЛНУ, 2021. - 180 с.
7. Павленко, М. П. Технічне обслуговування і ремонт: нові підходи до автоматизації [Текст] / М. П. Павленко. - Чернівці: ЧНУ, 2018. - 200 с.
8. Дьяків, А. А., Соловійов, О. М. Системи управління технічним обслуговуванням в промисловості [Текст] / А. А. Дьяків, О. М. Соловійов. - Київ: НТУУ "КПІ", 2021. - 260 с.

Науковий керівник: Бронніков Артем Ігорович, доц., к.т.н., доцент кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки.

ДОДАТОК Б
Скрипт для створення бази даних

```

-- Встановлення налаштувань для коректного створення обмежень
SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS,
FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE,
SQL_MODE='ONLY_FULL_GROUP_BY,STRICT_TRANS_TABLES,NO_ZERO_IN_DATE,NO_
ZERO_DATE,ERROR_FOR_DIVISION_BY_ZERO,NO_ENGINE_SUBSTITUTION';

-- Створення схеми
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `maintenancesystem` DEFAULT CHARACTER
SET utf8mb4 COLLATE utf8mb4_0900_ai_ci;
USE `maintenancesystem`;

-- Таблиця: workshops
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `workshops` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` VARCHAR(100) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

-- Таблиця: equipment
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `equipment` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` VARCHAR(100) NOT NULL,
  `model` VARCHAR(50) NOT NULL,
  `serial_number` VARCHAR(50) NOT NULL,
  `workshop_id` INT NOT NULL,
  `status` ENUM('Працює', 'Ремонтується', 'Незадіяний') NOT NULL
DEFAULT 'Працює',
  `last_maintenance_date` DATE DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  UNIQUE KEY `serial_number` (`serial_number`),
  KEY `workshop_id` (`workshop_id`),

```

```

        CONSTRAINT `equipment_ibfk_1` FOREIGN KEY (`workshop_id`)
REFERENCES `workshops` (`id`) ON DELETE CASCADE
    )
        ENGINE=InnoDB
        DEFAULT
        CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

-- Таблица: notifications

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `notifications` (
    `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    `role` ENUM('Працівник', 'Ремонтник', 'Адміністратор') NOT
NULL,
    `message` VARCHAR(255) NOT NULL,
    `date_created` DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    `is_read` TINYINT(1) DEFAULT 0,
    PRIMARY KEY (`id`)
    )
        ENGINE=InnoDB
        DEFAULT
        CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

-- Таблица: suppliers

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `suppliers` (
    `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    `name` VARCHAR(255) NOT NULL,
    `contact_person` VARCHAR(255) DEFAULT NULL,
    `phone` VARCHAR(20) DEFAULT NULL,
    `email` VARCHAR(100) DEFAULT NULL,
    `address` TEXT DEFAULT NULL,
    PRIMARY KEY (`id`)
    )
        ENGINE=InnoDB
        DEFAULT
        CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

-- Таблица: users

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `users` (
    `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    `username` VARCHAR(50) NOT NULL,
    `password_hash` VARCHAR(255) NOT NULL,

```

```

`role` ENUM('Працівник', 'Ремонтник', 'Адміністратор') NOT
NULL,
`workshop_id` INT DEFAULT NULL,
`photo` LONGBLOB DEFAULT NULL,
`email` VARCHAR(100) DEFAULT NULL,
PRIMARY KEY (`id`),
UNIQUE KEY `username` (`username`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

-- Таблиця: spareparts

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `spareparts` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `name` VARCHAR(100) NOT NULL,
  `quantity` INT NOT NULL,
  `min_stock_level` INT NOT NULL DEFAULT 1,
  `auto_order` INT DEFAULT 0,
  PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4
COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

-- Таблиця: orders

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `orders` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `sparepart_id` INT NOT NULL,
  `quantity` INT NOT NULL,
  `order_date` DATE NOT NULL,
  `supplier_id` INT DEFAULT NULL,
  `ordered_by` INT DEFAULT NULL,
  `status` ENUM('Очікується', 'Доставлено', 'Скасовано') DEFAULT
'Очікується',
  PRIMARY KEY (`id`),
  KEY `supplier_id` (`supplier_id`),
  KEY `ordered_by` (`ordered_by`),
  KEY `sparepart_id` (`sparepart_id`),

```

```

        CONSTRAINT `orders_ibfk_1` FOREIGN KEY (`supplier_id`)
REFERENCES `suppliers` (`id`) ON DELETE SET NULL,
        CONSTRAINT `orders_ibfk_2` FOREIGN KEY (`ordered_by`)
REFERENCES `users` (`id`) ON DELETE SET NULL,
        CONSTRAINT `orders_ibfk_3` FOREIGN KEY (`sparepart_id`)
REFERENCES `spareparts` (`id`) ON DELETE CASCADE
    )
    ENGINE=InnoDB
    DEFAULT CHARSET=utf8mb4
    COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;

```

```

-- Таблица: repairrequests
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `repairrequests` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `equipment_id` INT NOT NULL,
  `worker_id` INT NOT NULL,
  `workshop_id` INT NOT NULL,
  `description` TEXT NOT NULL,
  `photo_url` LONGBLOB DEFAULT NULL,
  `status` ENUM('Нова', 'Виконується', 'Завершена', 'Відхилена')
DEFAULT NULL,
  `assigned_repairman_id` INT DEFAULT NULL,
  `created_at` TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  `parts` VARCHAR(255) DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`),
  KEY `equipment_id` (`equipment_id`),
  KEY `worker_id` (`worker_id`),
  KEY `assigned_repairman_id` (`assigned_repairman_id`),
  KEY `workshop_id` (`workshop_id`),
  CONSTRAINT `repairrequests_ibfk_1` FOREIGN KEY
(`equipment_id`) REFERENCES `equipment` (`id`) ON DELETE CASCADE,
  CONSTRAINT `repairrequests_ibfk_2` FOREIGN KEY (`worker_id`)
REFERENCES `users` (`id`) ON DELETE CASCADE,
  CONSTRAINT `repairrequests_ibfk_3` FOREIGN KEY
(`assigned_repairman_id`) REFERENCES `users` (`id`) ON DELETE SET
NULL,

```

```
        CONSTRAINT `repairrequests_ibfk_4` FOREIGN KEY (`workshop_id`)
REFERENCES `workshops` (`id`) ON DELETE CASCADE
    )
    ENGINE=InnoDB
    DEFAULT CHARSET=utf8mb4
    COLLATE=utf8mb4_0900_ai_ci;
```

```
-- Повернення попередніх налаштувань
```

```
SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
```

```
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
```

```
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;
```

ДОДАТОК В

Текст класу для роботи з базою даних та обробки запитів

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using MySql.Data.MySqlClient;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using MySql.Data;
using System.IO;
using System.Drawing;

namespace Maintenance_System
{
    class function
    {
        public static Notifications messageForm = null;

        public MySqlConnection getConnection()
        {
            MySqlConnection con = new MySqlConnection();
            con.ConnectionString =
"server=localhost;database=maintenancesystem;port=3306;User
Id=root;password=1234";
            return con;
        }

        public DataSet getData(String query)
        {
            MySqlConnection con = getConnection();
            MySqlCommand cmd = new MySqlCommand();
            cmd.Connection = con;
            cmd.CommandText = query;
            MySqlDataAdapter da = new MySqlDataAdapter(cmd);
            DataSet ds = new DataSet();
            da.Fill(ds);
            return ds;
        }

        public void setData(String query, String msg)
        {
            MySqlConnection con = getConnection();
            MySqlCommand cmd = new MySqlCommand();
            cmd.Connection = con;
            con.Open();
            cmd.CommandText = query;
            cmd.ExecuteNonQuery();
            con.Close();
            MessageBox.Show(msg, "Information",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
        }

        public void not(String query)

```

```

    {
        MySqlConnection con = getConnection();
        MySqlCommand cmd = new MySqlCommand();
        cmd.Connection = con;
        con.Open();
        cmd.CommandText = query;
        cmd.ExecuteNonQuery();
        con.Close();
    }

public void setDataWithImage(string query, byte[]
imageData)
    {
        MySqlConnection con = getConnection();
        MySqlCommand cmd = new MySqlCommand(query, con);

        try
        {
            con.Open();

            // Перевіряємо, чи є зображення і додаємо
            параметр
            if (imageData != null)
            {
                cmd.Parameters.AddWithValue("@imagedata",
imageData);
            }
            else
            {
                cmd.Parameters.AddWithValue("@imagedata",
DBNull.Value);
            }

            // Виконуємо запит
            cmd.ExecuteNonQuery();

            MessageBox.Show("Дані успішно додані!",
"Інформація", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
        }
        catch (Exception ex)
        {
            MessageBox.Show("Помилка при оновленні: " +
ex.Message, "Помилка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
        }
        finally
        {
            con.Close();
        }
    }
}

```

ДОДАТОК Г
Демонстраційно-графічний матеріал



Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра КІТАР

Розроблення системи автоматизації для технічного
обслуговування обладнання приладобудівного підприємства

Підготував ст. гр. АКТАКІТу-22-1
Шаталюк Р. Р.

Керівник: Бронніков А. І.



Актуальність теми: Оптимізація виробничих процесів

У сучасному приладобудуванні безперерйна робота обладнання є критично важливою. Збої та простой призводять до значних фінансових втрат, зниження продуктивності та якості продукції.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технічного обслуговування (ТО) шляхом автоматизації. Це дозволить мінімізувати час простоїв, оптимізувати планування робіт, знизити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби обладнання.

Вступ: Мета та загальний опис проєкту

Об'єкт розробки – процес організації та керування технічним обслуговуванням промислового обладнання на приладобудівному підприємстві.

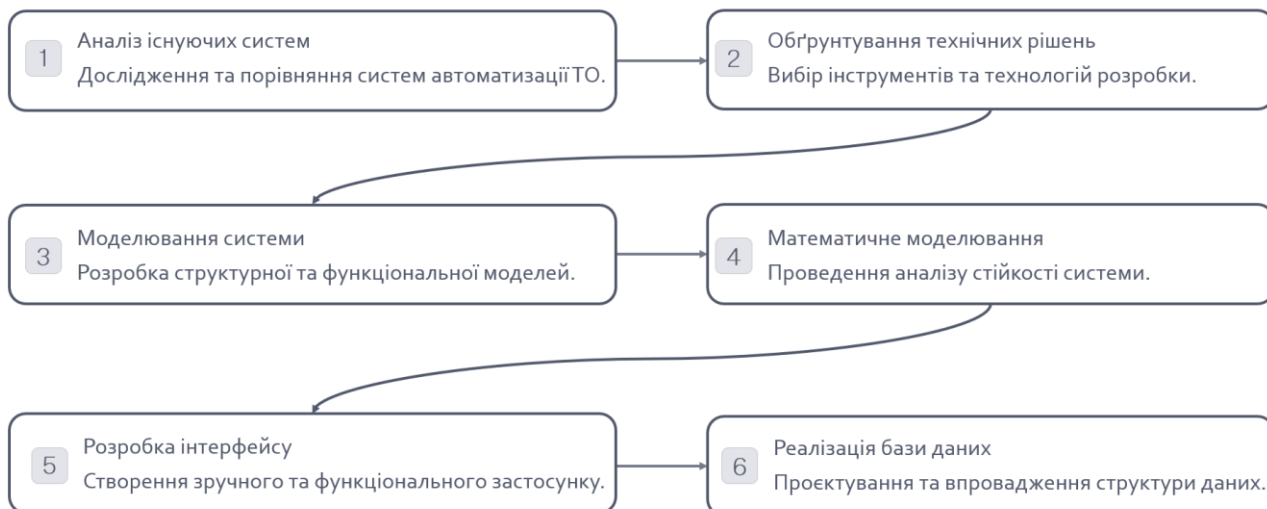
Предмет розробки – автоматизована інформаційна система для управління технічним обслуговуванням обладнання на підприємстві, що включає інструменти для обліку та моніторингу ремонтними роботами.

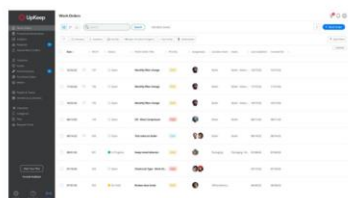
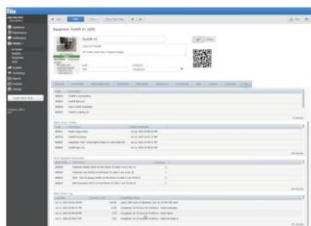
Мета роботи – розробка програмного забезпечення для полегшення процесів технічного обслуговування обладнання на приладобудівному підприємстві.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура».



Основні завдання кваліфікаційної роботи





Аналіз існуючих систем та обґрунтування потреби

Проведено глибокий аналіз популярних комерційних систем автоматизації технічного обслуговування (ТО), таких як **Fiix**, **UpKeep** та **IBM Maximo**, а також власні розробки. Визначено їхні ключові переваги (масштабованість, широкий функціонал) та недоліки (висока вартість ліцензій, складність налаштування, надмірний функціонал для середнього підприємства).

Детальний порівняльний аналіз показав, що існуючі комерційні рішення є **надлишковими** та **надто дорогими** для малих та середніх приладобудівних підприємств. Це обґрунтовує гостру потребу у створенні власної, **адаптованої системи**, яка відповідатиме специфічним вимогам галузі, буде доступнішою за вартістю та легшою в інтеграції.

Вибір технічних рішень та обґрунтування

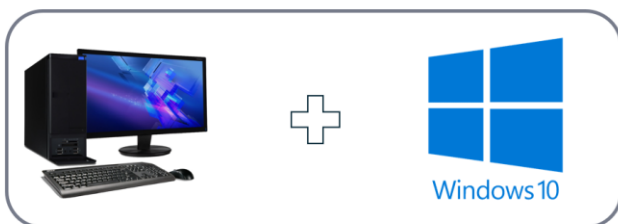
Для розробки системи обрано **C#** як мову програмування та Visual Studio з Windows Forms як середовище розробки. Цей вибір обґрунтований широкими можливостями **C#** для розробки корпоративних застосунків та інтеграції з базами даних.

Базою даних обрано **MySQL**, завдяки її надійності, високій продуктивності та поширеності. Для моделювання функціональних процесів використано нотацію **IDEFo**, що дозволило чітко визначити взаємодію компонентів та інформаційні потоки.



Щодо вибору апаратного забезпечення, розглядалися варіанти: Raspberry Pi, комп'ютерні системи на базі Windows (моноблоки, ноутбуки) та системи з операційною системою Linux. У результаті аналізу, для забезпечення оптимальної продуктивності та сумісності, обрано персональний комп'ютер з операційною системою Windows.

Проведено математичне моделювання процесів ТО та аналіз стійкості системи, що підтверджує її надійність та здатність до обробки великих обсягів даних.

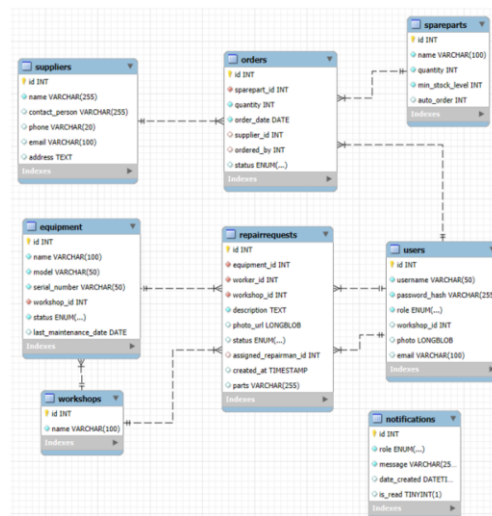


Розробка програмного забезпечення для технічного обслуговування обладнання

Розроблена система включає такі основні функції:

- реєстрація та управління обладнанням;
- облік заявок на ремонт та ТО;
- планування та моніторинг ремонтних робіт;
- генерація звітів про виконані роботи та стан обладнання;
- управління користувачами та їхніми ролями.

Структура бази даних реалізована за допомогою EER-діаграми, що забезпечує нормалізацію даних та ефективні зв'язки між сутностями, такими як «Верстати», «Заявки», «Ремонти», «Користувачі».

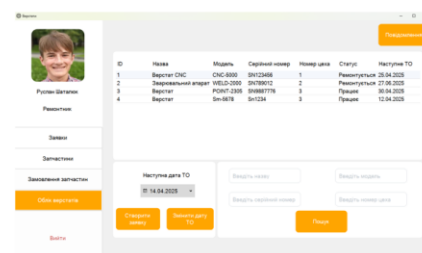
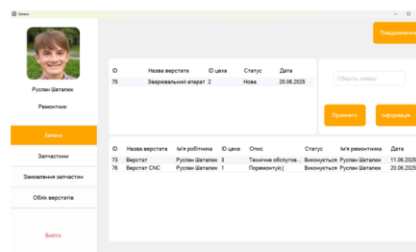


Розробка програмного забезпечення

Програмний застосунок призначений для автоматизації процесів технічного обслуговування та ремонту обладнання на підприємстві. У системі передбачено три категорії користувачів: адміністратор, працівник та ремонтник.

Ремонтник

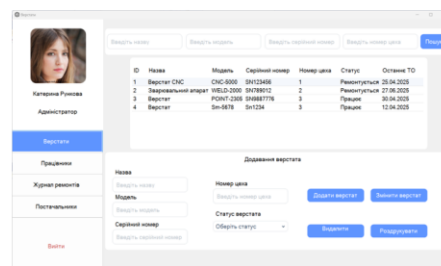
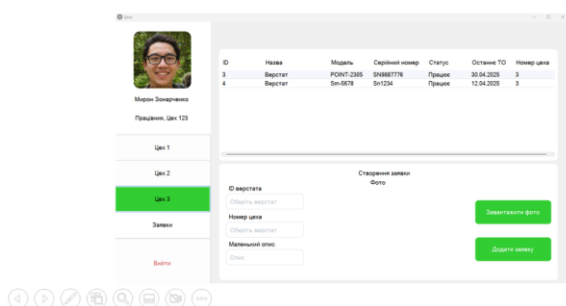
Основною вкладкою для ремонтника є «Заявки», де відображається перелік нових заявок на ремонт або технічне обслуговування. Ремонтник може переглядати деталі кожної заявки, приймати її в роботу, додавати або змінювати інформацію щодо стану заявки, а також завершувати її. Крім того, доступні вкладки для роботи із запчастинами, де можна додавати нові запчастини, створювати заявки на їх замовлення, переглядати наявність та виконувати пошук по всіх відповідних таблицях. Також реалізовано перегляд наявного обладнання, створення заявок на технічне обслуговування та можливість змінювати дату обслуговування.



Розробка програмного забезпечення

Адміністратор

Адміністратор має найширші можливості у системі, адже відповідає за загальне управління базами даних користувачів, обладнання, постачальників та заявок. Він може додавати, редагувати та видаляти інформацію про станки, працівників і постачальників, а також переглядати всі заявки, що надходять до системи. Додатково адміністратор може здійснювати пошук за різними параметрами в таблицях і формувати звіти для подальшого аналізу діяльності підприємства.



Працівник

Працівник взаємодіє з програмою з метою створення заявок на ремонт обладнання. Після авторизації у системі він має можливість подати заявку, переглянути її статус, а також дізнатися подробиці про вже подані звернення. Для зручності передбачено функцію пошуку серед заявок, а також можливість формувати звіти про створені звернення. Це дозволяє працівникам оперативно реагувати на несправності та контролювати хід виконання технічних робіт.

Висновки

При виконанні кваліфікаційної роботи був створений повноцінний застосунок для автоматизації технічного обслуговування обладнання. У ньому реалізовано окремий функціонал для трьох ролей, а саме: адміністратора, працівника та ремонтника. Кожен користувач бачить лише необхідний функціонал, що робить інтерфейс зручним і не перевантаженим. Уся інформація зберігається в надійній базі даних MySQL, що дозволяє ефективно керувати заявками, обладнанням і процесом ремонту.

У першому розділі проаналізовано аналогічні системи та обґрунтовано вибір стеку технологій: C#, .NET Framework, Windows Forms і MySQL. У другому розділі досліджено технічну частину — побудовано передавальну функцію, розраховано параметри системи, проаналізовано її стійкість за методами Михайлова, Найквіста, Гурвіца та побудовано АЧХ.

Третій розділ присвячено реалізації ролей у системі. Адміністратор керує користувачами, обладнанням і заявками; працівник створює заявки й додає фото; ремонтник працює із заявками, запчастинами та замовленнями. Саме модуль ремонтника вийшов найбільш функціональним, тому йому приділили особливу увагу. Також розроблено Use Case-діаграми та детально описано структуру бази даних із таблицями, полями та зв'язками.



