

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-21>

УДК:004.934.2

Мацько Юрій Андрійович, магістрант

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Міскевич Оксана Іванівна, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-5009-2391>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

АРХІТЕКТУРНО-ПРОГРАМНА МОДЕЛЬ ІОТ-СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ ЛІФТІВ

Мацько Ю. А., Христинець Н. А., Міскевич О. І. Архітектурно-програмна модель ІоТ-системи моніторингу та управління технічним обслуговуванням ліфтів. Метод виявлення вторгнень у безпроводових сенсорних мережах на основі правил специфікації та штучної нейронної мережі. У статті розглянуто архітектурно-програмну модель ІоТ-системи моніторингу та управління технічним обслуговуванням ліфтів, що інтегрує функції збору, оброблення й аналітики даних у режимі реального часу. Запропонована система базується на використанні сенсорних вузлів, які передають параметри роботи обладнання через протокол MQTT до центрального серверу, де здійснюється збереження даних у динамічних базах та подальший аналіз у середовищі CRM-платформи. Розроблена архітектура забезпечує структуровану взаємодію між апаратним рівнем, системним програмним забезпеченням і користувацьким інтерфейсом контрольної панелі. В межах дослідження описано функціонал панелі управління, що включає планування технічних оглядів, ведення дефектних актів, архівування протоколів і статистичний аналіз роботи обладнання. Проведене експериментальне моделювання підтвердило ефективність системи у зниженні часу реагування на несправності та підвищенні точності діагностики технічного стану ліфтів. Застосування ІоТ-технологій і CRM-рішень дозволяє перейти від планово-попереджувального до прогностичного обслуговування, що підвищує надійність і безпеку експлуатації.

Ключові слова: Інтернет речей, ІоТ-система, MQTT, ліфтове обладнання, цифровий моніторинг, CRM-система, технічне обслуговування.

Matsko Yu., Khrystynets N., Miskevych O. Architectural and Software Model of an IoT System for Elevator Maintenance Monitoring and Management. The article presents an architectural and software model of an IoT-based system for monitoring and managing elevator maintenance, which integrates data collection, processing, and analytics in real time. The proposed system is built on sensor nodes that transmit equipment operation parameters via the MQTT protocol to a central server, where data are stored in dynamic databases and subsequently analyzed within a CRM platform environment. The developed architecture ensures structured interaction between the hardware layer, system software, and the user interface of the control dashboard. The study describes the functionality of the control panel, including the scheduling of maintenance inspections, management of defect reports, protocol archiving, and statistical analysis of equipment performance. Experimental modeling confirmed the system's effectiveness in reducing fault response time and improving the accuracy of elevator technical condition diagnostics. The integration of IoT technologies and CRM solutions enables a transition from preventive to predictive maintenance, thereby enhancing operational reliability and safety.

Keywords: Internet of Things, IoT system, MQTT, elevator equipment, digital monitoring, CRM system, technical maintenance.

Постановка наукової проблеми. Сьогодні у сфері технічного обслуговування ліфтового обладнання відбувається активний перехід від паперових методів до цифрових систем управління [1-3]. Ліфт є складним технічним пристроєм, що складається з кабіни, дверних систем, шахти з напрямними та протизапирами, машинного приміщення з редукторами та двигунами, а також систем керування і приямку. Кожен із цих елементів потребує регулярного обслуговування та точного документування [4]. Попри наявність сучасних засобів автоматизації, значна частина ліфтового парку в Україні та світі все ще експлуатується без достатнього рівня цифрового моніторингу. Відсутність систем дистанційного контролю ускладнює виявлення ранніх ознак несправностей, що призводить до підвищення ризику аварійних ситуацій, збільшення витрат на ремонт та зниження ефективності технічного обслуговування. Традиційні підходи, засновані на періодичних оглядах, не враховують реальних умов експлуатації обладнання та не дозволяють оперативно реагувати на зміни його технічного стану.

Актуальною сьогочасною науковою проблемою є розроблення та впровадження ІоТ-системи моніторингу ліфтів, яка забезпечить безперервний збір, аналіз і передавання даних про роботу обладнання в режимі реального часу. Це дасть змогу підвищити надійність, безпечність і ефективність експлуатації ліфтових систем шляхом переходу до прогностичного обслуговування, замість планово-попереджувального.

Метою дослідження є розробка корпоративної CRM-системи для сервісних служб, що дозволяє інтегрувати дані про обладнання, автоматизувати обробку заявок та документів, а також забезпечувати контроль роботи інженерів. Для досягнення цієї мети необхідно визначити вимоги до системи, створити її модель, реалізувати прототип веб-застосунку та перевірити його у тестовому середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велика кількість виробників обладнання, серед яких Kone, Otis, Schindler, ThyssenKrupp, Mitsubishi, Hyundai та інші, ускладнює роботу сервісних служб (рис. 1). Умови, коли одна компанія обслуговує сотні ліфтів різних марок і моделей, вимагають швидкого доступу до даних про стан обладнання, сумісність деталей та історію ремонтів. Традиційні способи з паперовою документацією [5] не дають належної швидкості, прозорості та точності. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні єдиної інформаційної системи, яка б об'єднувала дані про всі ключові компоненти ліфта, автоматизувала документообіг і давала можливість контролювати роботу персоналу. Впровадження CRM-рішень з використанням веб-інтерфейсів та QR-кодів для ідентифікації обладнання може суттєво підвищити ефективність сервісного обслуговування.

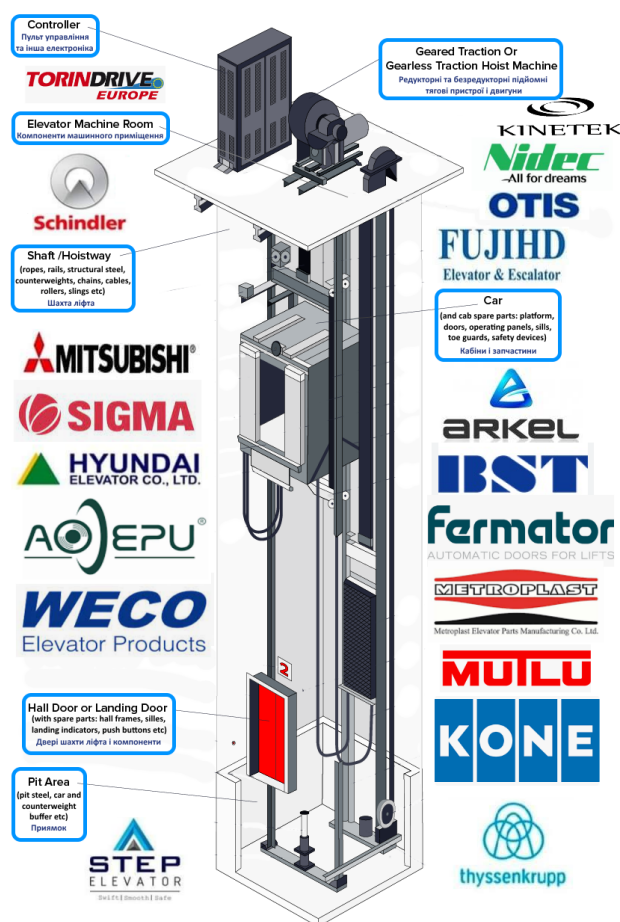


Рис. 1. Структурна схема компонентів ліфтової системи, що утворюють об'єкт управління обслуговуванням та цифрового моніторингу
(сформовано авторами)

У наукових дослідженнях питання впровадження CRM-систем традиційно розглядаються у контексті управління взаємовідносинами з клієнтами, оптимізації бізнес-процесів та підвищення якості сервісу. Як зазначає Раупе [6], сучасні CRM-платформи дозволяють не лише підтримувати комунікацію з клієнтами, але й інтегрувати дані з внутрішніх підсистем для забезпечення комплексного управління організацією. У роботі Buttle [7] CRM визначається як багаторівнева стратегія, що поєднує бізнес-процеси, людей та інформаційні технології.

Дослідження останніх років також акцентують увагу на застосуванні CRM у сфері сервісного обслуговування. Зокрема, автори [8] показують, що використання таких систем у технічному сервісі сприяє скороченню часу на виконання ремонтів і підвищенню прозорості обліку робіт. Подібні висновки підтверджуються в [9], де зазначено, що інтегровані інформаційно-контрольні середовища забезпечують більш ефективний моніторинг обладнання і документування технічних процесів.

Окремий напрямок досліджень стосується веб-орієнтованих корпоративних систем. Згідно з працею Laudon & Laudon [10], сучасні інформаційні системи повинні реалізовуватись у вигляді веб- або хмарних сервісів з розподілом прав доступу для різних категорій користувачів. Подібний підхід відзначають і в [11], де аналізуються інтерфейси корпоративних дашбордів, що поєднують бази даних, планувальники та механізми статистичної звітності.

Питання автоматизації електронного документообігу розглянуто у працях [12, 13], де показано, що застосування електронних протоколів, кошторисів і актів значно підвищує точність та швидкість обробки інформації. У свою чергу, використання QR-кодів для ідентифікації обладнання та мобільних інтерфейсів для працівників сервісу описується в [14], де автори наголошують на їхній зручності для контролю технічних робіт у полі.

Важливим напрямком є інтеграція CRM-систем із технологіями Інтернету речей. У роботі Lee et al. [15] показано, що підключення обладнання до корпоративних систем дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі, а також створювати автоматичні планувальники технічного обслуговування. Це безпосередньо відповідає завданням сервісних служб, що працюють з ліфтовим обладнанням.

Аналіз розглянутих публікацій підтвердив, що роботу CRM системи можна подати рисунком 2.

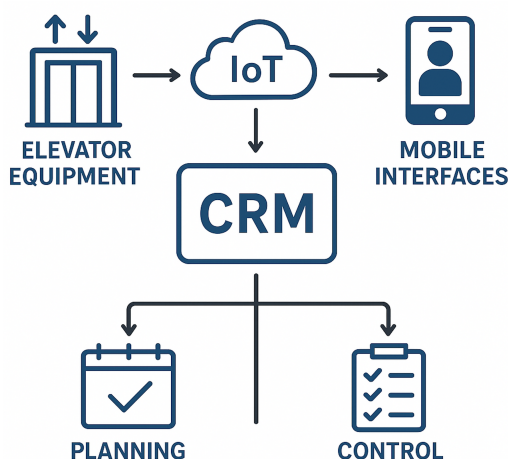


Рис. 2. Інтегрована схема для управління обслуговуванням ліфтів (сформовано авторами)

Тут дані надходять як від IoT-пристроїв обладнання, так і від працівників через мобільні інтерфейси та QR-коди. Центральна система обробляє цю інформацію, забезпечуючи комплексне управління сервісними процесами, включаючи планування ремонтів, моніторинг технічного стану обладнання та автоматизоване ведення електронної документації. Інтеграція з веб- та хмарними сервісами дозволяє організувати розподіл прав доступу, підвищити прозорість обліку робіт та ефективність контролю маршрутів виконавців. Схема відображає поєднання технологій CRM, електронного документообігу та IoT, що відповідає сучасним підходам до оптимізації бізнес-процесів у сервісній сфері. Значна кількість розглянутих досліджень присвячена загальним аспектам CRM, електронного документообігу та веб-орієнтованих систем управління. Саме питання побудови CRM-системи для сервісних служб з інтеграцією технічного обладнання, формуванням автоматизованих реєстр документів і контролем маршрутів виконавців залишаються недостатньо вивченими. Це визначає наукову новизну представленої роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка веб-частини корпоративної CRM-системи для сервісної служби ліфтового обладнання спрямована на створення інтегрованого

інформаційно-контрольного середовища, яке забезпечує автоматизовану взаємодію між підрозділами компанії, клієнтами та підключеним обладнанням.

Скрипт реалізовано мовою Python із використанням вбудованого засобу збереження даних SQLite. Його головне призначення полягає у створенні бази даних, яка моделює цифрове середовище керування технічним обслуговуванням ліфтів, з урахуванням клієнтів, користувачів, ліфтів, планів технічного обслуговування та параметрів їх роботи. Таким чином формується основа для побудови інтелектуальної CRM-системи управління сервісом.

У структурі програми центральним елементом є клас Database, який відповідає за ініціалізацію, підключення до бази та наповнення її тестовими або реальними даними. Метод `init_database` виконує створення таблиць, що описують усі сутності системи, а метод `seed_data` забезпечує логічно узгоджене заповнення початковими даними, включаючи перелік клієнтів, користувачів, ліфтів, їхні поточні стани та заплановані роботи. Така архітектура дозволяє відтворити у базі даних цифрову модель об'єкта управління – багаторівневу структуру технічних елементів ліфтової системи.

Важливим фрагментом програмного коду є створення таблиці `elevator_status` (лістинг 1), що зберігає розширені параметри поточного стану кожного ліфта. У цій таблиці описано динамічні характеристики, які змінюються в реальному часі, зокрема поточний поверх, швидкість, навантаження кабіни, стан дверей, а також діагностичні показники – температуру двигуна, стан гальм, натяг тросів, роботу вентиляції. Таке структурування даних забезпечує основу для безперервного цифрового моніторингу та подальшого аналізу технічного стану обладнання.

Лістинг 1 – Логічна основа цифрового моніторингу

```
cursor.execute(  
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS elevator_status (  
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,  
        elevator_id INTEGER,  
        current_floor INTEGER DEFAULT 1,  
        movement_status TEXT DEFAULT 'стоїть',  
        cabin_load INTEGER DEFAULT 0, -- навантаженість 0-100%  
        speed REAL DEFAULT 0.0,      -- швидкість м/с  
        door_status TEXT DEFAULT 'закриті',  
        work_status TEXT DEFAULT 'справний',  
        safety_circuit TEXT DEFAULT 'норма',  
        emergency_stop TEXT DEFAULT 'неактивна',  
        motor_temperature REAL DEFAULT 35.0,  
        cabin_lighting TEXT DEFAULT 'вкл',  
        ventilation TEXT DEFAULT 'вкл',  
        brake_status TEXT DEFAULT 'норма',  
        rope_tension TEXT DEFAULT 'норма',  
        last_update TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,  
        FOREIGN KEY (elevator_id) REFERENCES elevators (id)  
    )  
)
```

кінець лістингу 1
(сформовано авторами)

Запропонована модель дозволяє відстежувати роботу ліфтів у режимі реального часу, оперативно реагувати на відхилення в роботі систем безпеки та прогнозувати потребу в технічному обслуговуванні. Завдяки логічним зв'язкам між таблицями база даних об'єднує CRM-компоненти, такі як клієнти, користувачі та наряди на технічні роботи, з телеметричними даними, що надходять від сенсорних вузлів. Це створює умови для реалізації повноцінної інтегрованої IoT-платформи управління технічним станом і сервісним обслуговуванням ліфтів.

Процес передачі даних від ліфтового обладнання до системи моніторингу через протокол MQTT подано схемою (рис. 3). Ліфт відправляє різні параметри, зокрема номер поверху, стан дверей, швидкість руху та коди помилок, до центрального сервера або брокера MQTT. Це дозволяє

у реальному часі відстежувати роботу ліфта, виявляти збої та збирати дані для подальшого аналізу і планування технічного обслуговування.

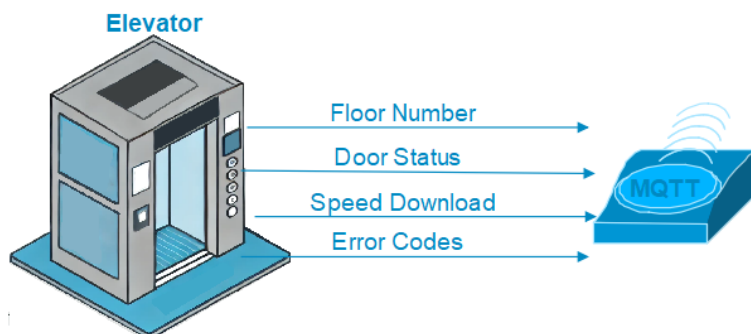


Рис.3. Типи даних для роботи з протоколом MQTT (сформовано авторами)

У системі виділено декілька ключових рівнів: контрольна панель як центральний дашборд, динамічні бази даних ліфтів і обслуговуючих компаній, довідники робіт і дефектів, реєстри документів та індивідуальні кабінети користувачів з чітко окресленими правами доступу. Функціонал контрольної панелі передбачає планування технічних оглядів і ремонтів, відстеження активних завдань, архівування протоколів, управління дефектними актами, інтеграцію з базами даних клієнтів та статистичний аналіз. Динамічні бази даних забезпечують прив'язку кожного ліфта до унікального ID з технічною інформацією, адресою та історією обслуговування.

У ході дослідження було зібрано та проаналізовано дані з інтегрованої бази технічного обслуговування ліфтів у м. Луцьк впродовж березня-травня 2025 року, що включає інформацію про технічний стан обладнання, динаміку виявлення дефектів і тривалість ремонтних робіт. До бази внесено параметри з п'яти об'єктів обслуговування, зокрема середню температуру двигуна, стан гальмівної системи, рівень навантаження кабіни, дату останнього технічного огляду та адреси розташування ліфтів. Окрім цього, окремий блок даних відображає статистику несправностей за місяцями, включаючи кількість зафіксованих дефектів і середній час їх усунення. Сукупність цих даних використано для побудови аналітичних графіків, які дозволяють виявити закономірності у роботі обладнання, оцінити ефективність проведених технічних заходів і визначити напрями вдосконалення системи моніторингу.

На рисунку 4 подано розподіл середньої температури двигунів, навантаженнями кабін, станів гальм ліфтів за вказаними адресами обслуговування.

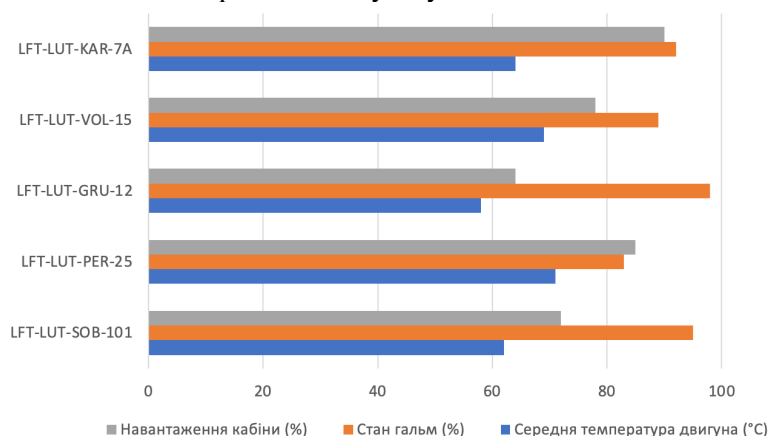


Рис.4. Середня температура двигунів ліфтового обладнання в період з березня по травень 2025 року (сформовано авторами)

Для побудови графіка було використано дані про п'ять ліфтів, розташованих у різних районах міста Луцька. Кожен ліфт має власний ідентифікаційний номер і адресу, що забезпечує можливість точного моніторингу стану обладнання. До вибірки увійшли ліфти за адресами проспект Соборності, проспект Перемоги, вулиця Грушевського, проспект Волі та вулиця Карбишева. Ці дані

стали основою для формування графіка, який відображає динаміку технічних показників та дозволяє оцінити ефективність експлуатації й обслуговування ліфтів у різних локаціях міста.

Підвищення температури понад 70 °С, як видно на прикладі ліфтів на проспекті Перемоги з ID ліфтового обладнання LFT-Lut-Per-25, може свідчити про перевантаження або недостатню вентиляцію машинного приміщення. Регламент обслуговування передбачає перевірку стану охолоджувальної системи при перевищенні температури 68 °С.

На рисунку 5 продемонстровано динаміку кількості дефектів і середнього часу ремонту за різні декади вказаного періоду.

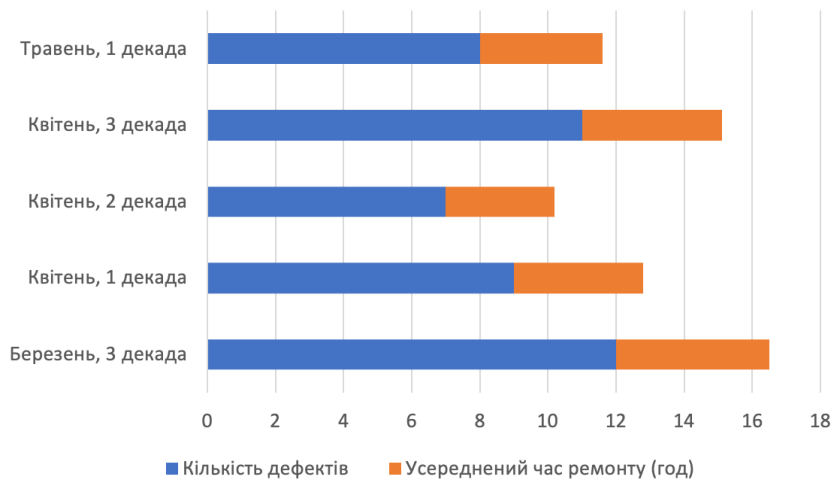


Рис.5. Динаміка дефектів і часу ремонту
(сформовано авторами)

Найбільша кількість несправностей фіксувалася у березні в 3 декаді та квітні 3 декаді, що відповідає піковим навантаженням через сезонне коливання температур, підвищену вологість та інтенсивніше використання ліфтів у житлових і громадських будівлях. У цей період частіше спостерігаються перепади напруги в електромережі та зростає кількість короточасних пусків, що спричиняє підвищене навантаження на двигуни, гальмівні системи й дверні механізми. Такі умови експлуатації вимагають посиленого моніторингу стану обладнання та своєчасного виконання профілактичних робіт. При цьому спостерігається поступове зменшення середнього часу ремонту _ з 4,5 до 3,6 годин, що свідчить про ефективність використання цифрової системи планування робіт та автоматизованого ведення дефектних актів.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Проведене дослідження підтвердило доцільність впровадження інтегрованої CRM-системи з підтримкою IoT-моніторингу для оптимізації процесів технічного обслуговування ліфтового обладнання. Отримані результати демонструють, що цифрова система дозволяє не лише підвищити точність і оперативність контролю технічного стану ліфтів, а й зменшити час реагування на виявлені несправності. Аналіз динаміки технічних показників показав, що автоматизований збір і обробка даних із сенсорних вузлів забезпечують можливість раннього виявлення відхилень у роботі двигуна, гальмівної системи та дверних механізмів. Зменшення середнього часу ремонту при стабільному рівні навантажень свідчить про ефективність цифрової координації між сервісними бригадами, автоматизованого документообігу й використання електронних дефектних актів. Запропонована система дає змогу перейти від планово-попереджувального обслуговування до прогностичного, що базується на фактичному стані обладнання. Це, у свою чергу, підвищує безпеку експлуатації, зменшує ризик аварійних ситуацій і сприяє раціональному використанню ресурсів сервісної служби.

Отже, інтеграція CRM-платформи з технологіями Інтернету речей є ключовим напрямом розвитку сучасних систем управління технічним обслуговуванням ліфтів, оскільки забезпечує комплексний підхід до моніторингу, аналітики та планування технічних робіт у реальному часі. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням функціональних можливостей системи шляхом впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування відмов обладнання на основі історичних даних сенсорів.

Список бібліографічного опису

1. Haiying Yan. Research on the application of Internet of things in elevator industry[J]. Industrial control computer, 2013(8):102-103
2. Min Zhang, Chunjun Huang. Design of elevator real-time monitoring system based on Internet of things[J]. The Chinese test, 2012,(1):101- 105
3. Lei Chu. A study on the design of elevator typical fault monitoring and trouble alarm system based on the Internet of things [D]. Urumqi : Xinjiang University, 2014.
4. Xueqin Yan, Lirong Xie, Zhijiagn Cheng. etc. ZigBee+3G The application of the network in the new type of well - road elevator monitoring system[J]. Automatic instrument, 2015 (1) : 1-4
5. You Zhou, Kai Wang, Hongxia Liu. An Elevator Monitoring System Based On The Internet Of Things. Procedia Computer Science, Vol.131, 2018, P.541-544. ISSN 1877-0509
6. Payne A. Handbook of CRM: Achieving Excellence in Customer Management. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.
7. Buttle F., Maklan S. Customer Relationship Management: Concepts and Technologies. Routledge, 2019.
8. Nguyen B., Simkin L. The dark side of CRM: Advantaged and disadvantaged customers. Journal of Consumer Marketing. 2013. №30(1).
9. Romero D., Vernadat F. Enterprise information systems state of the art: Past, present and future. Computers in Industry. 2016. №79.
10. Laudon K., Laudon J. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Pearson, 2020.
11. Eckerson W. Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business. Wiley, 2010.
12. Зубенко В. В., Кравець І. О. Системи електронного документообігу в корпоративному середовищі. Вісник НТУУ «КПІ». 2021.
13. Костенко Л. М. Автоматизація бізнес-процесів та документообігу підприємства. Економіка та управління підприємством. 2020.
14. Fiala Z. et al. Mobile interfaces for field service management: QR-based solutions. Procedia Computer Science. 2019. №164.
15. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons. 2015. №58(4).

References

1. Haiying Yan. Research on the application of Internet of things in elevator industry[J]. Industrial control computer, 2013(8):102-103
2. Min Zhang, Chunjun Huang. Design of elevator real-time monitoring system based on Internet of things[J]. The Chinese test, 2012,(1):101- 105
3. Lei Chu. A study on the design of elevator typical fault monitoring and trouble alarm system based on the Internet of things [D]. Urumqi : Xinjiang University, 2014.
4. Xueqin Yan, Lirong Xie, Zhijiagn Cheng. etc. ZigBee+3G The application of the network in the new type of well - road elevator monitoring system[J]. Automatic instrument, 2015 (1) : 1-4
5. You Zhou, Kai Wang, Hongxia Liu. An Elevator Monitoring System Based On The Internet Of Things. Procedia Computer Science, Vol.131, 2018, P.541-544. ISSN 1877-0509
6. Payne A. Handbook of CRM: Achieving Excellence in Customer Management. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.
7. Buttle F., Maklan S. Customer Relationship Management: Concepts and Technologies. Routledge, 2019.
8. Nguyen B., Simkin L. The dark side of CRM: Advantaged and disadvantaged customers. Journal of Consumer Marketing. 2013. №30(1).
9. Romero D., Vernadat F. Enterprise information systems state of the art: Past, present and future. Computers in Industry. 2016. №79.
10. Laudon K., Laudon J. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Pearson, 2020.
11. Eckerson W. Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business. Wiley, 2010.
12. Зубенко В. В., Кравець І. О. Системи електронного документообігу в корпоративному середовищі. Вісник НТУУ «КПІ». 2021.
13. Костенко Л. М. Автоматизація бізнес-процесів та документообігу підприємства. Економіка та управління підприємством. 2020.
14. Fiala Z. et al. Mobile interfaces for field service management: QR-based solutions. Procedia Computer Science. 2019. №164.
15. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. Business Horizons. 2015. №58(4).