



ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

DEVELOPMENT OF A COMPUTER SIMULATION MODEL FOR STUDYING BUSINESS PROCESSES IN COMPUTER SYSTEMS MAINTENANCE

¹Великодний С.С., ²Зайцева-Великодна С.С., ³Кумайгородський В.В.
¹Stanislav Velykodniy, ²Svitlana Zaitseva-Velykodna, ³Vadym Kumaihorodskiy

^{1,2,3} Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, Одеса, Україна
ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0001-8590-7610>, ²<https://orcid.org/0000-0001-7453-8821>,
³<https://orcid.org/0009-0007-2032-4191>
E-mail: ¹velykodniy@gmail.com, ²svetlana.zaytseva@gmail.com, ³vadimkym@gmail.com

Copyright © 2026 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v18i1.3272

Анотація. У статті представлено комплексний підхід до моделювання та аналізу бізнес-процесів сервісного обслуговування комп'ютерних систем, спрямований на підвищення ефективності роботи майстерень з ремонту та технічної підтримки. На основі аналізу нормативних документів, сучасних методів організації сервісних послуг і практичних проблем функціонування майстерні, визначено ключові чинники, що впливають на якість і швидкість виконання заявок. Запропоновано уніфікований комплекс, що охоплює структурні та поведінкові UML-діаграми, які формалізують аспекти сервісного процесу та забезпечують його узгоджене представлення. Розроблено імітаційну модель, яка відтворює основні етапи обслуговування. Модель включає механізми пріоритизації заявок і конкуренції за ресурс, що дає змогу досліджувати вплив різних типів ремонтів на завантаженість персоналу та час очікування. Проведено серію експериментів, у межах яких отримано статистичні звіти, гістограми часу та графіки завантаженості. Аналіз результатів показав нерівномірність розподілу навантаження, високу варіативність тривалості очікування та значний вплив термінових заявок на загальний перебіг робіт. На основі інтерпретації даних сформульовано рекомендації щодо оптимізації логістичних і виробничих процесів, впровадження автоматизованих систем керування, перегляду системи пріоритетів, розширення ремонтних потужностей та застосування статистичних методів для моніторингу та планування. Запропонований підхід може бути використаний для модернізації сервісних центрів, удосконалення управлінських рішень і підвищення якості обслуговування клієнтів, а також слугувати основою для подальших досліджень, спрямованих на інтеграцію інтелектуальних алгоритмів та предиктивних моделей у процеси управління ремонтними службами.

Abstract. The article presents a comprehensive approach to modeling and analyzing the business processes involved in computer systems service maintenance, aimed at improving the efficiency of repair and technical support workshops. Based on an examination of regulatory documents, modern service-management practices, and practical operational challenges, the study identifies key factors that influence the quality and speed of request fulfillment. A unified framework of structural and behavioral UML diagrams is proposed to formalize the essential aspects of the service process and ensure its consistent representation. A simulation model replicating the core stages of service delivery has been developed. The model incorporates mechanisms for request prioritization and resource competition, which makes it possible to examine how different types of repairs affect staff workload and customer wait times. A series of experiments was conducted, generating statistical reports, wait-time histograms, and workload charts. The analysis revealed uneven workload distribution, high variability in waiting times, and a significant impact of urgent requests on overall workflow dynamics. Based on the interpretation of these results, recommendations were formulated regarding the optimization of logistical and operational processes, the implementation of automated management systems, the revision of priority schemes, the expansion of repair capacity, and the application of statistical methods for monitoring and planning. The



proposed approach can be used to modernize service centers, enhance managerial decision-making, and improve customer service quality, and it can also serve as a foundation for future research focused on integrating intelligent algorithms and predictive models into repair-service management systems.

Ключові слова: імітаційне моделювання, бізнес-процес, сервісне обслуговування, UML-діаграма, керування ресурсами, статистичний аналіз, обслуговування, завантаженість, оптимізація процесів

Key words: computer simulation modeling, business process, service maintenance, UML diagram, resource management, statistical analysis, service operations, workload, process optimization

Вступ

У сучасному суспільстві комп'ютерні системи (КС) стали невід'ємним елементом повсякденного життя, а їх справна робота має визначальне значення як у професійній діяльності, так і в особистому користуванні. Безперерйне функціонування КС забезпечує стабільність бізнес-процесів, швидкість логістичних операцій, проведення наукових досліджень, ефективність військових операцій захисту в умовах збройної агресії російської федерації тощо.

Постійне зростання складності апаратного й програмного забезпечення обумовлює потребу у висококваліфікованому технічному обслуговуванні, адже навіть незначні збої можуть спричинити відчутні порушення у роботі КС. Разом із тим розвиток інформаційних технологій формує нові вимоги до сервісного обслуговування, серед яких особливої актуальності набувають швидкість реагування та якість виконання ремонтних робіт.

У цих умовах сервісні майстерні з ремонту та обслуговування КС (МРОКС) мають впроваджувати сучасні методи діагностики, застосовувати ефективні алгоритми ремонту та вдосконалювати внутрішні бізнес-процеси. Це потребує належної організації їхньої діяльності, спрямованої на забезпечення високої якості послуг і задоволення потреб замовників. Одним із ключових чинників ефективної роботи МРОКС є оптимізація виробничо-сервісних процесів, що дозволяє:

- скоротити час виконання замовлень;
- підвищити якість обслуговування замовників;
- зменшити витрати на експлуатацію обладнання та ресурси.

Імітаційне моделювання та оптимізація бізнес-процесів виступають дієвими інструментами для досягнення цих цілей, оскільки дають змогу:

- а) прогнозувати можливі проблемні ситуації;
- б) виявляти «вузькі місця» у роботі майстерні;
- в) розробляти ефективні стратегії усунення недоліків.

У статті розглядаються сучасні підходи до: імітаційного моделювання, автоматизації управління процесами, організації робочих потоків, а також пропонуються напрями вдосконалення бізнес-процесів у МРОКС.

1 Аналіз стану сервісного обслуговування комп'ютерних систем та постановка проблеми

У результаті аналізу офіційних нормативно-правових документів, що визначають класифікацію та особливості надання сервісних послуг в Україні [1, 2], було встановлено такі положення:

а) основні типи МРОКС:

- офіційні сервісні центри, що працюють за договорами з виробниками;
- приватні ремонтні майстерні, які надають послуги на договірній основі;
- виїзні технічні спеціалісти (майстри), що здійснюють обслуговування безпосередньо у клієнта;

б) види послуг, які надаються відповідно до [3], що регулює гарантійне обслуговування та права споживачів у сфері ремонту КС: діагностика несправностей, ремонт апаратного забезпечення, налаштування програмного забезпечення (ПЗ), заміна компонентів і модулів, модернізація техніки;

в) додатковими характеристиками діяльності МРОКС є середній час виконання замовлень та рівень завантаженості технічних спеціалістів [4].

На основі узагальнення отриманих даних складено перелік основних проблем, що впливають на ефективність функціонування МРОКС:

- а) затримки у виконанні замовлень [5], спричинені недостатньою кількістю кваліфікованих фахівців або дефіцитом запчастин;
- б) низький рівень автоматизації процесів [6], зокрема ручне ведення обліку замовлень, неефективне планування робіт;
- в) обмежена клієнтоорієнтованість – відсутність можливості онлайн-запису, складність у комунікації з клієнтами [7];
- г) висока собівартість ремонту, обумовлена вартістю комплектуючих або нераціональною системою постачання [8];
- д) відсутність єдиної системи контролю якості [9], що призводить до різного рівня сервісу у різних майстернях.

2 Мета і завдання дослідження

Метою статті є розроблення та дослідження імітаційної моделі (ІМ) функціонування МРОКС, а також пошук оптимальних рішень для підвищення її ефективності.



Об'єктом дослідження є процеси організації та управління діяльністю сервісної МРОКС.

Для досягнення поставленої мети дослідження передбачається вирішення таких завдань:

- провести аналіз діяльності існуючих МРОКС, виявити їхні типові проблеми та визначити можливі шляхи вдосконалення;
- розробити ІМ функціонування майстерні, яка відображає основні етапи процесу: приймання замовлень, діагностику, ремонт, тестування та передачу готових виробів клієнтам;
- виконати аналіз основних чинників, що впливають на швидкість виконання замовлень та якість сервісного обслуговування;
- розробити методи оптимізації логістичних і виробничих процесів у МРОКС для підвищення ефективності її роботи;
- реалізувати програмну модель та створити алгоритми для автоматизації окремих процесів обслуговування;
- провести оцінювання ефективності запропонованих методів на основі тестових сценаріїв або реальних статистичних даних;
- сформулювати практичні рекомендації щодо вдосконалення організації роботи МРОКС.

3 Методи і матеріали досліджень

3.1 Проектування уніфікованого діаграмного комплексу

Діаграма варіантів використання (ДВВ) або Use Case Diagram в UML (Unified Modeling Language) є одним із ключових інструментів моделювання функціональних можливостей системи з позиції її користувачів та інших зацікавлених сторін (акторів). Вона відображає взаємодію між акторами та системою, визначаючи набір функцій, які ця система повинна реалізовувати [10].

Використання ДВВ дозволяє:

- визначити основні завдання, які виконує система;
- описати способи взаємодії користувачів із її компонентами;
- встановити перелік ключових функцій, що підтримуються системою;
- виявити взаємозв'язки між акторами та елементами системи.

Спроектуюмо ДВВ (рис. 1), яка дозволить нам визначити та візуалізувати основні бізнес-процеси, що відбуваються у МРОКС, об'єктивувати ключові взаємодії та з'ясувати концептуальні можливості та параметри для оптимізації.

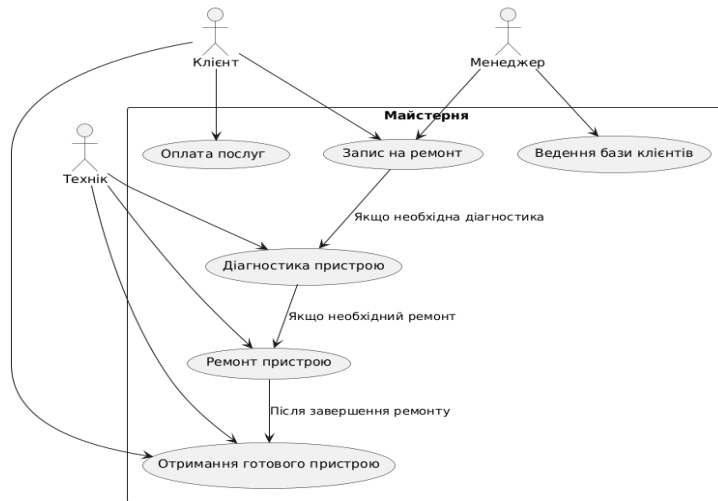


Рис. 1 – Діаграма варіантів використання для представлення функціональних процесів у майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем

Fig. 1 – Use case diagram representing the functional processes of the computer systems repair and maintenance workshop

Діаграми послідовності (ДП), або Sequence Diagram в UML, застосовуються для моделювання взаємодії між об'єктами у часовій послідовності, демонструючи порядок надсилання повідомлень між ними [11]. Вони дають змогу відобразити, як саме об'єкти співпрацюють у межах певного сценарію, що є важливим під час аналізу чи розробки системи. Основними елементами таких діаграм є об'єкти, лінії життя (що позначають період активності об'єкта), повідомлення (синхронні та асинхронні), а також блоки активності та умовні конструкції, які дають можливість показати альтернативні або повторювані дії (цикли)» [12].

Ці діаграми ефективні для деталізації бізнес-процесів, інтеграції систем або розгляду конкретних сценаріїв взаємодії, оскільки дозволяють наочно представити порядок комунікацій між об'єктами, а це може бути критично важливим для коректного проектування або оптимізації.

У межах нашого дослідження ДП для МРОКС має відобразити послідовність взаємодії між такими основними об'єктами, що беруть участь у побудові ДП:



- а) клієнт – формує запит на виконання ремонту;
- б) система керування чергами – розподіляє запит до відповідної групи ремонтів: капітальний, стандартний, терміновий;
- в) майстер – здійснює ремонтні операції, займає й вивільняє ресурс;
- г) статистичний модуль – оновлює інформацію про виконані ремонти.

Далі наведемо представлення ДП у формалізованому вигляді, включно з її логічними зв'язками (повідомленнями) (рис. 2).

Таким чином, спроектована ДП відображає повний цикл ремонту КС – від моменту подання клієнтом заявки до повернення відремонтованого пристрою, вона демонструє логічну послідовність операцій та характер взаємодії між усіма учасниками процесу. За допомогою ДП (рис. 2) можна сформулювати основні етапи сценарію роботи МРОКС, зокрема:

- а) створення запиту на ремонт клієнтом;
- б) маршрутизація заявки у відповідну чергу: капітальний ремонт, стандартний ремонт, терміновий ремонт;
- в) передача заявки майстру (після того, як вона стає першою у черзі);
- г) виконання робіт майстром: діагностика → ремонт → тестування;
- д) повідомлення клієнта про завершення ремонту;
- е) оновлення статистики в системі.

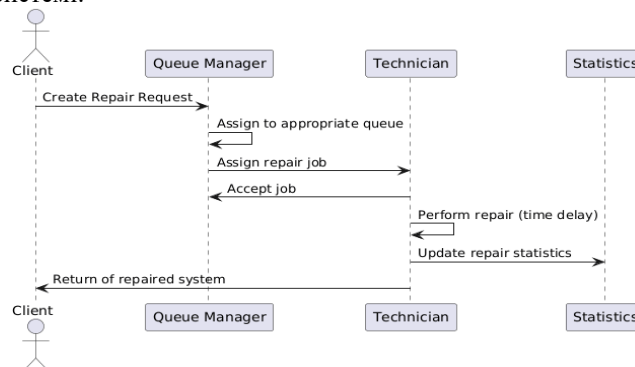


Рис. 2 – Діаграма послідовності представлення взаємодії між об'єктами у майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем

Fig. 2 – Sequence diagram illustrating the interaction between objects in the computer systems repair and maintenance workshop

Діаграма діяльності (ДД), також відома як діаграма активності (англ. Activity Diagram), є одним із ключових інструментів UML, що використовується для графічного відображення потоків керування та взаємодій у системі [13]. За її допомогою можна представити логіку виконання процесів, послідовність операцій та можливі розгалуження, що виникають під час роботи системи. Такі діаграми активно застосовують для:

- моделювання бізнес-процесів;
- опису алгоритмів програм;
- аналізу взаємодії користувачів із системою.

Основна перевага ДД полягає в тому, що вона наочно відтворює структуру процесів і логіку їх виконання, що полегшує розуміння функціонування системи. Діаграма може містити: умови переходів між діями, розгалуження та паралельні потоки роботи, що робить її ефективним інструментом для аналізу та оптимізації процесів. Завдяки цьому ДД широко використовують під час: аналізу систем, проектування та документування програмних рішень. У межах моделювання МРОКС ДД має продемонструвати:

- а) загальний алгоритм функціонування;
 - б) потоки виконання робіт для кожного типу ремонту, відображені через відповідні зв'язки між діями.
- Основні етапи проектування ДД для МРОКС включають (рис. 3):
- а) реєстрацію заявки (надходження КС у чергу ремонту);
 - б) очікування у відповідній черзі залежно від типу робіт: капітальний, терміновий або стандартний ремонт;
 - в) призначення майстра (за наявності вільного ресурсу);
 - г) виконання ремонтних робіт (з урахуванням тривалості для різних типів ремонту);
 - д) звільнення майстра після завершення робіт;
 - е) завершення обробки замовлення та вихід його із системи (TERMINATE).

Отже, розроблена ДД дає змогу чітко структурувати процес ремонту КС та надати візуалізацію етапів для аналітичної оцінки ефективності роботи майстерні.

Діаграма класів (ДК) або Class Diagram, є однією з основних структурних діаграм UML. Вона використовується для відображення статичної структури програмної системи, включаючи: класи, їхні атрибути, методи та типи зв'язків між класами. Головне призначення ДК полягає в тому, щоб показати, яким чином об'єкти



системи взаємопов'язані та як вони взаємодіють між собою, забезпечуючи цілісне розуміння архітектури програмного забезпечення [14].

У нашому випадку, ДК повинна продемонструвати взаємодію ключових елементів системи МРОКС:

- клієнт формує запити на ремонт;
- майстерня організовує процес ремонту та керує техніками;
- техніки виконують ремонтні роботи.

Взаємозв'язки між класами мають показати, як дані та керування передаються між складовими системи.

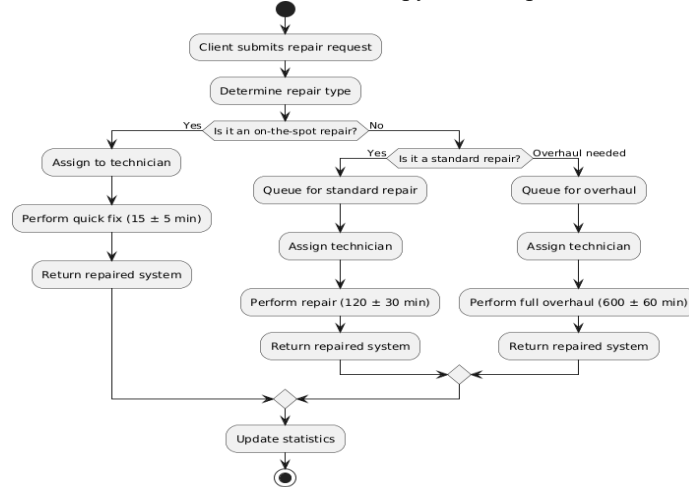


Рис. 3 – Діаграма активності, що описує потоки керування та логіку виконання процесів у майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем

Fig. 3 – Activity diagram describing control flows and process execution logic in the computer systems repair and maintenance workshop

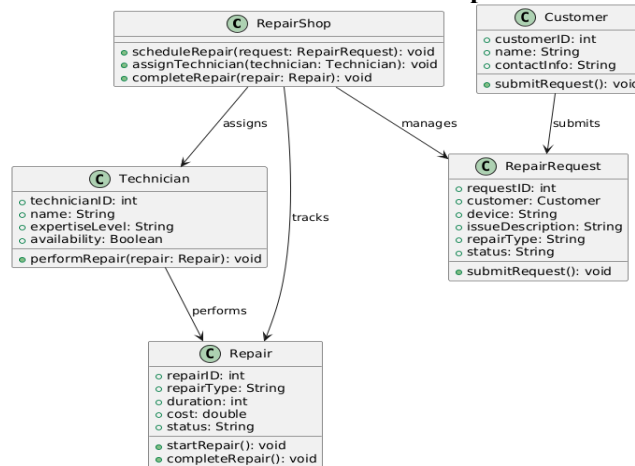


Рис. 4 – Діаграма класів, що відображає статичну структуру імітаційної моделі майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем

Fig. 4 – Class diagram representing the static structure of the simulation model of the computer systems repair and maintenance workshop

Сформуємо структуру майбутньої ДК (рис. 4).

Далі опишемо класи, їх атрибути, методи та зв'язки між ними, з яких складається модель МРОКС:

- а) RepairShop (майстерня ремонту) – центральний клас, відповідальний за організацію всього процесу ремонту – включає методи: планування ремонту (*scheduleRepair*); призначення техника (*assignTechnician*); завершення ремонту (*completeRepair*);
- б) RepairRequest (запит на ремонт) – містить усю інформацію, пов'язану із заявкою на ремонт: ідентифікатор, дані клієнта, тип пристрою, опис проблеми, статус, метод *submitRequest()* для відправлення запиту;
- в) Technician (технік) – клас, що описує співробітника, який виконує ремонт, містить: ID, ім'я, рівень кваліфікації, доступність / зайнятість (тип даних 1 або 0), метод *performRepair()* для проведення ремонту;
- г) Repair (ремонт) – клас, що містить інформацію про сам ремонтний процес: ID ремонту, тип, тривалість, вартість, статус, методи *startRepair()* та *completeRepair()* для керування процесом ремонту;
- д) Customer (клієнт) – зберігає дані про замовника (ID, ім'я, контакти) та дозволяє йому формувати заявку через метод *submitRequest()*.



Розберемо зв'язки між класами (рис. 4):

- RepairShop → RepairRequest : manages – майстерня керує заявками;
- RepairShop → Technician : assigns – майстерня призначає техніків;
- RepairShop → Repair : tracks – майстерня контролює ремонт;
- Customer → RepairRequest : submits – клієнт створює запит;
- Technician → Repair : performs – технік виконує ремонт.

Таким чином, побудована ДК для МРОКС відображає структуру моделі та взаємодію ключових компонентів, що забезпечує розуміння архітектури сервісного процесу.

Діаграма станів (ДС) або State Machine Diagram є важливим засобом UML-моделювання, який дає змогу описати поведінку об'єктів у системі [15]. ДС показує всі можливі стани, у яких може перебувати об'єкт, а також події, що спричиняють переходи між станами. Такий тип діаграм особливо корисний під час аналізу життєвого циклу: об'єктів, автоматів, бізнес-процесів та технічних систем, де зміна стану зумовлена виконанням певних умов або діями користувача.

До основних елементів ДС належать:

- а) стани – відображають окремі етапи існування об'єкта;
- б) події – умови або тригери, що ініціюють перехід;
- в) переходи – логічні зв'язки між станами.

Також можуть використовуватися:

- початковий і кінцевий стани;
- розгалуження для опису альтернативних сценаріїв;
- вкладені або паралельні стани для моделювання складної поведінки.

Застосування ДС дозволяє формалізувати внутрішню поведінкову логіку роботи системи, полегшує її аналіз, проектування та наступну реалізацію. У контексті моделювання МРОКС, ДС має відображати основні етапи опрацювання заявки на ремонт та поведінкові стани процесів ремонту та взаємодії із клієнтами. Спроектуюмо наведені стани (рис. 5), а саме: новий запит, очікування в черзі, діагностика, ремонт, тестування, видача клієнту.

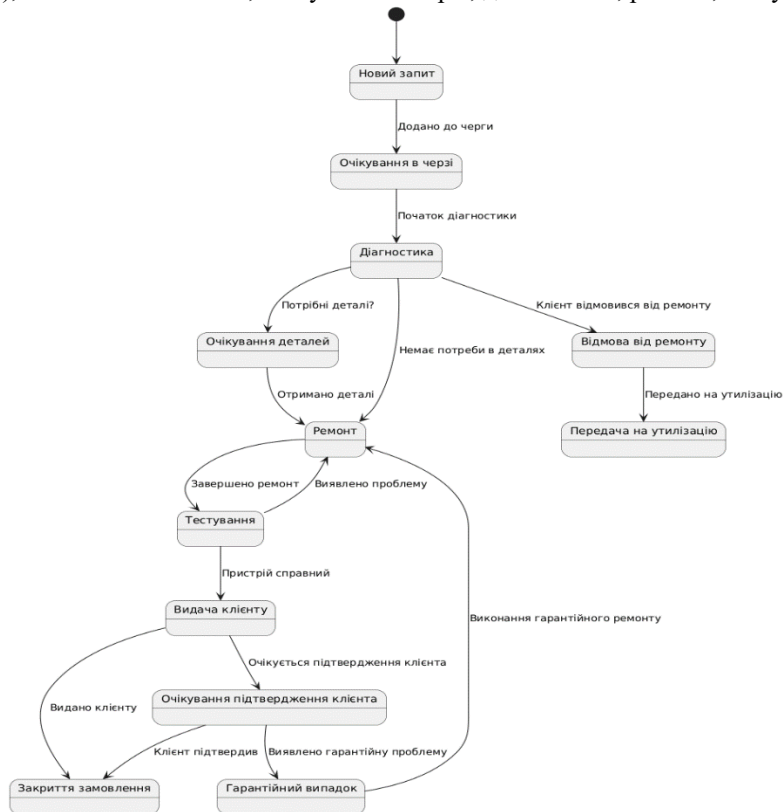


Рис. 5 – Діаграма станів, яка описує поведінку об'єктів моделювання для майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем

Fig. 5 – State machine diagram describing the behaviour of modelling objects in the computer systems repair and maintenance workshop

Зауважимо, що переходи між станами на ДС визначаються різними умовами, наприклад: необхідністю заміни комплектуючих або виявленням додаткових проблем під час тестування.



3.2 Підхід до створення імітаційної моделі

GPSS (General Purpose Simulation System) – це спеціалізована мова імітаційного моделювання, призначена для дослідження систем із дискретними подіями. Її використовують для аналізу різноманітних складних об'єктів, зокрема: виробничих процесів, транспортної логістики, обчислювальних систем та сервісних структур [16].

Ця ПЗ пропонує інтуїтивний інтерфейс для створення ІМ, а також містить засоби для графічного відображення процесів і статистичного опрацювання отриманих результатів. GPSS World дає змогу моделювати масштабні та комплексні системи, надаючи широкі можливості для збору, аналізу та інтерпретації даних, що робить його дієвим інструментом для дослідження та оптимізації практичних бізнес-процесів [15]. За допомогою цього програмного середовища фахівці можуть відтворювати поведінку системи, визначити її критичні точки та підбирати раціональні варіанти удосконалення роботи.

Модель складається з кількох функціональних сегментів, кожен з яких оперує власним типом транзактів. Перші три сегменти описують три типи (категорії) ремонтних робіт: капітальний, негайний та звичайне технічне обслуговування. Усі ці категорії робіт конкурують за один спільний ресурс – пристрій *Maintenance*, який моделює майстра. Завдання капітального ремонту мають найнижчий пріоритет.

Нижче наведено фрагменти програмного коду моделі МРОКС, реалізованої мовою GPSS. У рамках моделі передбачається, що одна одиниця модельного часу відповідає одній хвилині.

Генерація заявок на капітальний ремонт:

```
GENERATE 2400,480,,,1;
```

тобто кожні 40 годин у систему надходять транзакти, що представляють обладнання (в оренді або у власності компанії), яке потребує капітального ремонту, причому ці заявки мають низький пріоритет – 1.

```
QUEUE Overhaul
QUEUE Alljobs;
```

де блоки «QUEUE» використовуються для збору статистичних даних; «Overhaul» фіксує накопичення транзактів саме на капітальний ремонт; «Alljobs» збирає узагальнену статистику для всіх типів робіт.

```
SEIZE Maintenance;
```

тут транзакти намагаються зайняти пристрій «Maintenance», який символізує роботу майстра.

```
DEPART Overhaul;
DEPART Alljobs;
```

далі після отримання доступу до ресурсу час очікування фіксується відповідними блоками DEPART.

```
ADVANCE 600,60;
```

час виконання капітального ремонту моделюється як 10 ± 1 год. (600 ± 60 хв).

```
RELEASE Maintenance;
```

після завершення робіт майстер звільняється та може переходити до виконання наступного завдання.

```
TERMINATE;
```

транзакт, що становить завершене завдання, видаляється із системи.

Генерація заявок на негайний ремонт:

```
GENERATE 90,10,,,3;
```

цей блок створює транзакти для негайного ремонту, які з'являються в середньому кожні 90 ± 10 хв. Вони мають вищий пріоритет, ніж транзакти капітального ремонту, тобто – 3.

```
QUEUE Spot;
QUEUE Alljobs;
```

блоки «QUEUE» ведуть себе відповідно до описаного вище; «Spot» – збирає статистику щодо негайних ремонтів; «Alljobs» – необхідний для фіксації загальної статистики всіх заявок.

```
PREEMPT Maintenance,PR;
```

оскільки негайний ремонт має найвищий пріоритет, транзакти можуть переривати виконання завдань інших типів. Блок PREEMPT витісняє поточний транзакт та спрямовує пристрій (майстра) до термінового ремонту.

```
DEPART Spot;
DEPART Alljobs;
```

тут два блоки «DEPART» фіксують час очікування у двох відповідних чергах.

```
ADVANCE 15,5;
```

тривалість обслуговування (негайного ремонту) становить 15 ± 5 хв.

```
RETURN Maintenance;
```

після завершення ремонту ресурс повертається, а витіснений раніше транзакт, що являє собою інший тип ремонту, може відновити виконання.

```
TERMINATE;
```

транзакт негайного ремонту вилучається із системи, але не завершується робота лічильника.

Далі наведемо наступний сегмент моделі:

```
GENERATE 300,60,,,2;
QUEUE Service;
QUEUE Alljobs;
```



```

PREEMPT Maintenance, PR;
DEPART Service;
DEPART Alljobs;
ADVANCE 120, 30;
RETURN Maintenance;
TERMINATE

```

Цей сегмент моделі працює за аналогічним принципом, що й попередній, однак має одну важливу умову моделювання: завдання негайного ремонту можуть переривати як звичайний ремонт, так і капітальний; звичайний, у свою чергу, має змогу переривати лише капітальний. Тому транзакти, що відповідають звичайним роботам, отримують пріоритет «2», який займає проміжне значення між пріоритетами інших двох типів ремонтів.

```
GENERATE 480;One xact each 8 hr. day;
```

у цьому блоці транзакти генеруються кожні 8 модельних годин часу (480 хв.), виконуючи роль лічильника днів у процесі моделювання.

```
TERMINATE 1;
```

тут створений транзакт одразу видаляється. При цьому значення лічильника завершення зменшується на 1, що забезпечує можливість керувати тривалістю моделювання за допомогою операнда «A» у команді «START».

Сформуємо гістограми для візуалізації статистики черг:

```

Overhaul QTABLE Overhaul, 10, 10, 20
Spot QTABLE Spot, 10, 10, 20
Service QTABLE Service, 10, 10, 20
Alljobs QTABLE Alljobs, 10, 10, 20

```

У моделі ведеться облік часу очікування майстра для кожного типу робіт:

- «Overhaul» – капітальний ремонт;
- «Spot» – негайний ремонт;
- «Service» – звичайний ремонт;
- «Alljobs» – загальний показник для всіх видів завдань.

Оператори «QTABLE» ініціалізують статистичні гістограми для відповідних черг. Кожна з цих структур може бути переглянута у вікні «Table» та автоматично включається до стандартного звіту моделювання. У цьому випадку немає потреби використовувати блоки «TABULATE», оскільки статистичні дані фіксуються автоматично під час входу транзакту до блоку «DEPART», що пов'язаний із оператором черги.

Нижній сегмент моделі (в якому створюється та видаляється один транзакт), реалізує механізм відліку робочих днів. Лише в цьому сегменті команда «TERMINATE» зменшує лічильник завершення, який встановлений у команді «START». Моделювання припиниться, коли значення цього лічильника («TG1») стане нульовим.

При побудові гістограм враховується лише час очікування до початку роботи, тобто без тривалості виконання ремонту. Для кожної черги створюється власна Q-таблиця, що дає змогу автоматично будувати графіки часу очікування для відповідної категорії ремонтних завдань.

4 Проведення експериментів, аналіз та інтерпретація отриманих результатів

Після запуску інтерактивною командою «START» із параметром «50», імітаційне моделювання триває до того моменту, коли до блоку «TERMINATE» потрапить відповідна кількість транзактів, що еквівалентно 50 робочим дням. По завершенні виконання моделювання, GPSS World автоматично згенерує статистичний звіт («REPORT») у окремому файлі (рис. 6). За замовчуванням цей файл матиме назву «ComputerRepair.1.1». Повний текст отриманого статистичного звіту займає декілька сторінок.

Розширення імені файлу звіту змінюється залежно від кількості попередніх запусків моделі та вже збережених результатів. Якщо моделювання виконується вперше, система автоматично присвоює розширення формату «*.1.1». На основі отриманих даних статистичного звіту, можна виконати первинний аналіз ключових статистичних показників та зробити таку їх інтерпретацію:

– UTIL = 0,783 – коефіцієнт використання (КВ) пристрою, тобто майстер був завантажений у середньому на 78%, що свідчить про високий рівень застосування ресурсу;

– OVERHAUL AVE.TIME = 25.021 – середній час очікування для завдань капітального ремонту становив близько 25 хв.;

– SERVICE AVE.TIME = 51.092 – заявки на стандартне сервісне обслуговування чекали в середньому 51 хв.;

– SPOT AVE.TIME = 0.000 – для негайних ремонтів затримок не спостерігалось, що є очікуваною поведінкою відповідно до початкової умови опису, яка моделюється через найвищий пріоритет;

– ALLJOBS AVE.TIME = 12.148 – загальний середній час очікування всіх видів робіт склав приблизно 12 хв.

Слід зазначити, що наведені значення відображають лише час очікування, оскільки моделювання часу обслуговування (ремонт майстром) відбувається у блоках поза межами структур «DEPART» (фіксують тільки період затримки до початку виконання роботи).



FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
MAINTENANCE	355	0.783	52.911	1	402	0	0	0	0
QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY	
OVERHAUL	1	0	9	5	0.009	25.021	56.298	0	
SPOT	1	0	266	266	0.000	0.000	0.000	0	
SERVICE	2	0	80	62	0.170	51.092	227.078	0	
ALLJOBS	3	0	355	333	0.180	12.148	196.027	0	
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%			
OVERHAUL	25.021	39.998		0					
			10.000 -	10.000	6	66.67			
			20.000 -	20.000	0	66.67			
			30.000 -	30.000	0	66.67			
			40.000 -	40.000	1	77.78			
			50.000 -	50.000	0	77.78			
			60.000 -	60.000	0	77.78			
			70.000 -	70.000	0	77.78			
			80.000 -	80.000	0	77.78			
			90.000 -	90.000	1	88.89			
			100.000 -	100.000	1	100.00			
SPOT	0.000	0.000							
SERVICE	51.092	180.680		10.000	266	100.00			
				10.000	69	86.25			
				20.000	1	87.50			

Рис. 6 – Згенерований статистичний звіт у окремому файлі
 Fig. 6 – Generated statistical report in a separate file

Для оцінки ефективності роботи МРОКС побудуємо гістограми часу очікування майстра для кожного типу ремонтних робіт, окрім негайного ремонту, оскільки для нього прогнозовано отримано нульовий час очікування. На рис. 7 подано гістограми очікування капітального (OVERHAUL) та звичайного (SERVICE) ремонтів.

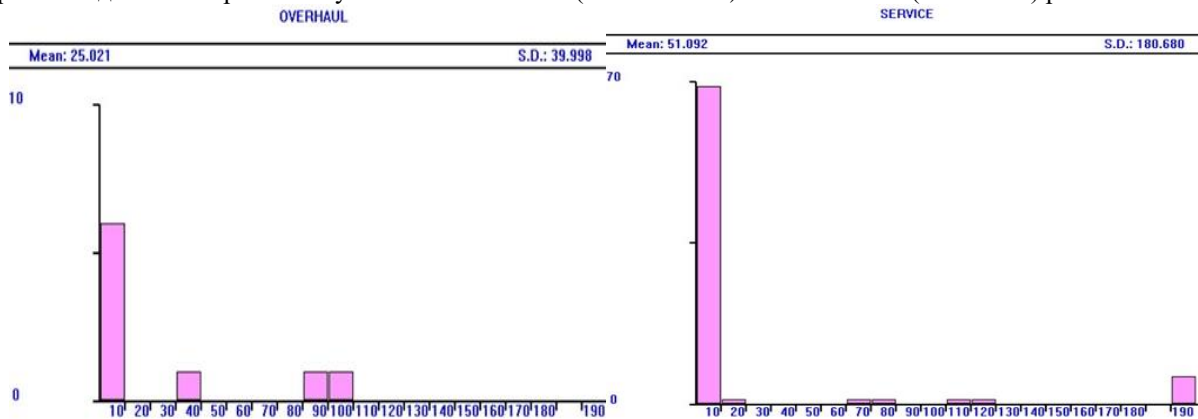


Рис. 7 – Гістограми часів очікування капітального (OVERHAUL) та звичайного (SERVICE) ремонтів
 Fig. 7 – Histograms of waiting times for overhaul (OVERHAUL) and standard service (SERVICE) repairs

Отримані гістограми містять інформацію, яка частково дублює стандартний статистичний звіт, але також демонструє додаткові характеристики розподілу. Основні статистичні параметри гістограм зведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні статистичні параметри гістограм очікування

Тип ремонту:	Середній час очікування (Mean), хв.:	Стандартне відхилення (S. D.), хв.:	Первинний візуальний аналіз	
			Більшість звернень очікує:	Виключення:
капітальний	25,021	39,998	до 10 хвилин – 6 випадків (найвищий стовпчик)	окремі транзакти мають суттєво більший час очікування (до 100 хв.), що свідчить про появу затримок
звичайний	51,092	180,68	до 10 хвилин (69 випадків), що відповідає високій частоті коротких робіт	поодинокі випадки значно триваліших ремонтів (до 190 хв.), що зумовлює наявність «хвоста» розподілу

Інтерпретація гістограм:

- нерівномірність розподілу (на обох гістограмах) демонструє вплив конкуренції між різними типами робіт за ресурс «майстер»;
- велике значення стандартного відхилення (особливо для типу «звичайний ремонт») вказує на суттєву нерівномірність тривалості очікування.

Аналіз отриманих спостережень:

- а) присутня асиметрія розподілів;



б) домінування коротких заявок: максимальна частота спостерігається саме в інтервалі до 10 хв., що свідчить про ефективність обробки типових запитів, що реалізовані у ІМ;

в) вплив окремих тривалих ремонтів:

– довгі ремонти зустрічаються рідко, але суттєво впливають на форми розподілів;

– наявність кількох значень у діапазоні понад 180 хв. може спричинити нестабільність у роботі МРОКС та формувати непередбачувані затримки у обслуговуванні;

– такі випадки можуть бути пов'язані зі складними несправностями або з одночасним перериванням кількох поточних робіт завданнями із вищим пріоритетом.

Таким чином, отримані гістограми дозволяють наочно оцінити поведінку ІМ, виявити нерівномірності у тривалості очікування та зробити висновки щодо можливих шляхів оптимізації процесів, що відбуваються при роботі МРОКС.

Для дослідження динаміки завантаженості майстра сформуємо відповідний графік. У вікні «Edit Plot» задаємо необхідні параметри (рис. 8 а), після чого GPSS World буде графік зміни КВ майстра МРОКС у часі (рис. 8 б).

Графік відображає, як змінюється рівень завантаженості майстра протягом роботи ІМ: за віссю «Х» відкладається час моделювання, за віссю «Y» – значення КВ.

Аналіз отриманого графіка:

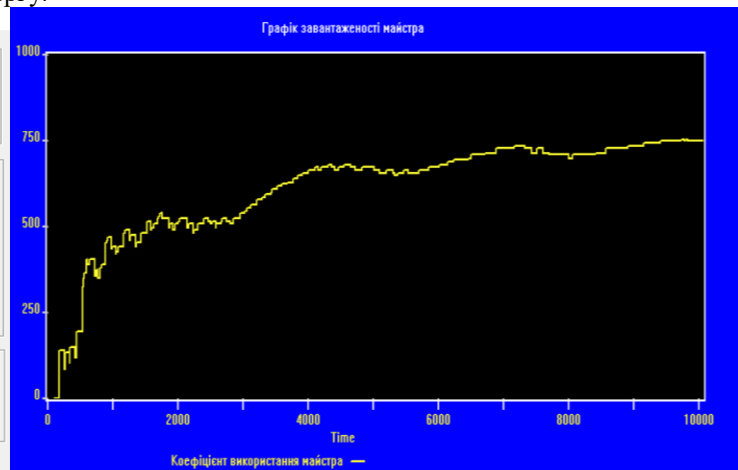
а) початковий період (0 – 2 тис. од. часу): спостерігається стрімке зростання КВ – це свідчить про поступове збільшення кількості звернень до майстра у перші моменти роботи системи, коли майстер працює ще не на повне навантаження;

б) середній період (2 тис. – 7 тис. од. часу): КВ стабілізується з невеликими коливаннями – у цей час модель переходить до режиму усталеної роботи, у якому надходження замовлень та їх виконання врівноважуються;

в) пізній період (7 тис. – 10 тис. од. часу): графік наближається до плато, де завантаженість майстра залишається стабільно високою – це свідчить, що майстер працює на максимальній продуктивності, а надходження додаткових замовлень вже може сформувати чергу.

Edit Plot Window

а)



б)

Рис. 8 – Побудова динаміки завантаженості майстра: а) завдання параметрів побудови; б) графік використання ресурсу (завантаженості майстра)

Fig. 8 – Construction of technician workload dynamics: a) parameter setup; b) resulting plot

Інтерпретація експериментальних результатів:

а) висока завантаженість у кінці графіка вказує на потенційне перевантаження ресурсу майстра: система у такому режимі стає більш чутливою до затримок, а черги – довгими;

б) можливими рішеннями є введення додаткового майстра та оптимізація тривалості окремих процесів ремонту, а також перерозподіл запитів між типами (категоріями) робіт;

в) для більш детального оцінювання стану МРОКС варто проаналізувати також: середній час очікування у черзі, довжину накопичених заявок, інші статистичні показники;

г) загалом графік демонструє, що майстерня працює на межі своїх потужностей та для підвищення ефективності необхідно оптимізувати баланс між інтенсивністю потоку замовлень та доступністю ресурсів.

5 Обговорення результатів

Під час представлення результатів експериментальних досліджень та обговорення реалізації ІМ фахівці й експерти виокремили низку аспектів, що потребують уваги, а також сформулювали додаткові рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування ІМ.

Виявлені «вузькі місця» в процесі моделювання та, відповідні, критичні зауваження до ІМ:



- а) висока варіативність показників: значний розкид значень часу обслуговування може свідчити про переваженість майстра або про потребу у вдосконаленні підсистеми розподілу пріоритетів між різними типами (категоріями) робіт;
- б) тривалі періоди очікування: якщо окремі завдання очікують виконання до 190 хв. – це може означати, що роботи з капітального ремонту мають надто низький пріоритет у черзі;
- в) витіснення капітальних ремонтів іншими типами робіт: завдання на терміновий та звичайний ремонт можуть надмірно впливати на доступність ресурсу (майстра) для виконання капітальних ремонтів, що призводить до їх систематичних затримок.

Рекомендації щодо оптимізації роботи ІМ:

- а) оптимізація процесу короткотривалих ремонтів: оскільки більшість ремонтів триває не більше 20 хв., доцільно спрямувати зусилля на удосконалення саме цієї категорії робіт, зокрема завдяки частковій автоматизації або перегляду розподілу доступних ресурсів;
- б) зменшення варіативності часу обслуговування: високе стандартне відхилення свідчить про можливі неефективності під час виконання складних ремонтних робіт – варто розглянути доцільність додаткової класифікації запитів і виокремлення найбільш трудомістких процесів у окремий операційний потік;
- в) раціоналізація обробки довготривалих ремонтів: доцільним є перерозподіл ресурсів або застосування механізмів пріоритизації, що прискорять виконання складних і тривалих ремонтів, зменшуючи їхній негативний вплив на загальну пропускну здатність системи;
- г) перегляд системи пріоритетів: слід перевірити, чи не занижений пріоритет капітального ремонту та чи не надмірно часто термінові ремонтні переривають його виконання, що може створювати додаткові затримки;
- д) оптимізація генерації заявок: можливим напрямом покращення є регулювання інтервалів надходження запитів на ремонт, що дозволить уникнути надмірного накопичення черги;
- е) розширення кадрового ресурсу: якщо майстер демонструє стабільно високий рівень завантаженості, доцільно змодельовати систему з двома фахівцями – це може суттєво скоротити час очікування та підвищити якість обслуговування.

Запропоновані рекомендації обов'язково будуть використані для вдосконалення ІМ та формування більш ефективних стратегій роботи МРОКС.

Висновки

У ході виконання дослідження було застосовано комплексний підхід до моделювання та аналізу роботи майстерні з ремонту та обслуговування комп'ютерних систем. Реалізовано наступні етапи виконання дослідження, у результаті чого отримано нижченаведені наукові результати.

1. Проведено детальний аналіз функціонування реальних ремонтних майстерень, що дозволило виявити характерні закономірності та проблеми роботи МРОКС.
 2. Визначено основні недоліки функціонування системи, серед яких:
 - а) значні затримки в обслуговуванні клієнтів;
 - б) недостатньо ефективне використання доступних ресурсів;
 - в) відсутність автоматизованих механізмів управління ремонтними процесами.
 3. Спроектовано уніфікований діаграмний комплекс, що включає UML-діаграми: варіантів використання, послідовності, діяльності, класів та станів, які відображають основну поведінкову та структурну логіку роботи майстерні й взаємодію між її елементами.
 4. Розроблено ІМ роботи майстерні, що реалізує ключові етапи обслуговування клієнтів: прийом замовлень, діагностику, ремонт, тестування та видачу відремонтованих пристроїв.
 5. Аналіз результатів моделювання засвідчив, що впровадження автоматизованої системи управління дає змогу зменшити середній час очікування клієнтів у черзі та підвищити загальну ефективність використання ресурсів.
 6. Гістограми часу очікування та графіки завантаженості майстра підтвердили нерівномірність використання ресурсів залежно від типу (категорії) ремонтних робіт. Зокрема, саме капітальний ремонт характеризується найбільшим часом очікування, що свідчить про необхідність додаткової оптимізації пріоритетів.
- У рамках дослідження було сформовано низку рекомендацій щодо удосконалення виробничих та логістичних бізнес-процесів у МРОКС, зокрема:
- а) впровадження автоматизованих систем обліку й планування (CRM-рішень) для керування чергами та моніторингу виконання робіт;
 - б) оптимізація розподілу ресурсів шляхом коригування пріоритетів між терміновими, звичайними та капітальними ремонтами;
 - в) збільшення ремонтних потужностей за рахунок розширення штату майстрів або застосування мультипоточкових робочих станцій;
 - г) використання статистичних даних для регулярного моніторингу ефективності та прогнозування навантаження на систему.



Результати роботи можуть бути:

- використані під час модернізації та реорганізації діяльності МРОКС, а також при впровадженні нових інформаційних систем управління;
- корисними для: власників сервісних центрів, адміністраторів та менеджерів майстерень, фахівців, які зацікавлені у підвищенні ефективності технічного обслуговування КС.

Подальші наукові дослідження доцільно орієнтувати на поглиблене удосконалення моделі МРОКС, шляхом розширення її функціональних можливостей та підвищення точності відтворення пріоритетів заявок. Перспективним є застосування методів машинного навчання для побудови предиктивних моделей, здатних прогнозувати тривалість обслуговування та оцінювати причини потенційних затримок. Крім того, важливим напрямом розвитку є розроблення інтелектуальних алгоритмів оптимального розподілу ресурсів, які б забезпечили мінімізацію очікувань у чергах та підвищення продуктивності роботи майстерні.

Список використаних джерел

1. Класифікація видів економічної діяльності ДК 009:2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb457609-10#Text> (дата звернення: 09.11.2025).
2. Ремонт і технічне обслуговування електронного й оптичного устаткування. Клас 33.13. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/33/KVED10_33_13.html (дата звернення: 05.11.2025).
3. Закон України «Про захист прав споживачів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text> (дата звернення: 08.11.2025).
4. Operations Management. Stevenson W. J. (13th ed.) McGraw-Hill Education. URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3265631> (дата звернення: 04.11.2025).
5. Hurwitz J. S., Bloor R., Kaufman M., Halper F. Service Management For Dummies. Hoboken : Wiley Publishing, Inc., 2009. 339 p.
6. Introduction to Information Systems. Rainer R. K. (Jr.), Prince Brad, Sánchez-Rodríguez C., Ebrahimi S., Spletstoesser I. Oakville : John Wiley & Sons, 2023. 608 p.
7. Огляд двадцятки найкращих CRM-систем для бізнесу. URL: <https://esputnik.com/uk/blog/oglyad-dvadcyatki-najkrashih-crm-sistem-dlya-biznesu> (дата звернення: 01.11.2025).
8. Гурч Л. М. Логістика : Навч. посіб. Київ : ДП «Видавничий дім «Персонал», 2008. 560 с. ISBN 978-966-608-815-7.
9. ISO 9001 Quality Management System Templates. URL: https://www.iso-9001-checklist.co.uk/quality-manual-template.htm?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA5Ka9BhB5EiwA1ZVtvMUQD1p0xQmzBIMgnzlg0BUQvrFX3UzSmChuV9RMTNf9pOskxtQNyxoCyIMQAvD_BwE (дата звернення: 07.11.2025).
10. Великодний С. С. Моделі та методи проактивного управління проектами із розвитку програмних систем і продуктів. Монографія. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2021. 322 с. ISBN 978-966-186-182-3.
11. Великодний С., Діброва В., Зайцева-Великодна С., Кумайгородський В. Програмно-технічне забезпечення регулювання яскравості сигналів у комп'ютерно-інтегрованих системах управління вуличним рухом. *Automation of Technological and Business Processes*. Vol 17. No 3. Sept. 2025, P. 77–87. DOI:10.15673/atbp.v17i3.3212.
12. Velykodniy S. S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open CAD systems. *Applied Aspects of Information Technology*. 2019. Vol. 2. No 3. P. 186–205. DOI: 10.15276/aait.03.2019.2.
13. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Modelling the behavioural component of the emergent parallel processes of working with graph databases using Petri net-tools. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. (Scopus) 2021. Vol. 36. Iss. 6. P. 498–515. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445760.2021.1934836>. Taylor & Francis Group, England & Wales. London.
14. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодна С. С. Реінжиніринг графічних баз даних у середовищі відкритої системи автоматизованого проектування BRL-CAD. Моделювання структурної частини. *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. 2019. Вип. 3 (116). С. 130–139.
15. Великодний С. С. Моделювання складних процесів та систем (Частина 1) : конспект лекцій. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2021. 92 с. ISBN 978-966-186-181-6.
16. Великодний С. С., Тимофєєва О. С., Зайцева-Великодна С. С. Метод розрахунку показників оцінки проекту при виконанні реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. №4. С. 135–142. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-13.

References

- [1] “Klasyfikatsiia vydiv ekonomichnoi diialnosti DK 009:2010”. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb457609-10#Text> (Accessed: Nov. 09, 2025).
- [2] “Remont i tekhnichne obsluhovuvannia elektronnoho u optychnoho ustatkuvannia. Klas 33.13.” [Online]. Available: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/33/KVED10_33_13.html (Accessed: Nov. 05, 2025).



- [3] Zakon Ukrainy "Pro zakhyst prav spozhyvachiv." [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text> (Accessed: Nov. 08, 2025).
- [4] W. J. Stevenson, "Operations Management", 13th ed. McGraw-Hill Education. [Online]. Available: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3265631> (Accessed: Nov. 04, 2025).
- [5] J. S. Hurwitz, R. Bloor, M. Kaufman, and F. Halper, "Service Management For Dummies". Hoboken: Wiley Publishing, Inc., 339 p., 2009.
- [6] R. K. (Jr.) Rainer, B. Prince, C. Sánchez-Rodríguez, S. Ebrahimi, and I. Spletstoesser, "Introduction to Information Systems". Oakville: John Wiley & Sons, 608 p., 2023.
- [7] "Ohliad dvadtsiatky naikrashchykh CRM-system dlia biznesu". [Online]. Available: <https://esputnik.com/uk/blog/oglyad-dvadcyatki-najkrasih-crm-sistem-dlya-biznesu> (Accessed: Nov. 01, 2025).
- [8] L. M. Hurch, "Lohistyka". Kyiv: DP "Vydavnychiy dim 'Personal'", 560 p., 2008. ISBN 978-966-608-815-7.
- [9] "ISO 9001 Quality Management System Templates". [Online]. Available: <https://www.iso-9001-checklist.co.uk/quality-manual-template.htm> (Accessed: Nov. 07, 2025).
- [10] S. S. Velykodniy, "Modeli ta metody proaktyvnoho upravlinnia proiektamy iz rozvytku prohramnykh system i produktiv". Odesa: Odeskyi derzhavnyi ekolohichnyi universytet, 2021, 322 p., ISBN 978-966-186-182-3.
- [11] S. Velykodniy, V. Dibrova, S. Zaitseva-Velykodna, and V. Kumaigorodskyi, "Prohramno-tekhniche zabezpechennia rehuliuвання yaskravosti syhnaliv u kompiuterno-intehrovanykh systemakh upravlinnia vulychnym rukhom," Automation of Technological and Business Processes, vol. 17, no. 3, pp. 77–87, Sept. 2025, doi: 10.15673/atbp.v17i3.3212.
- [12] S. S. Velykodniy, "Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open CAD systems," Applied Aspects of Information Technology, vol. 2, no. 3, pp. 186–205, 2019, doi: 10.15276/aait.03.2019.2.
- [13] S. Velykodniy, Zh. Burlachenko, and S. Zaitseva-Velykodna, "Modelling the behavioural component of the emergent parallel processes of working with graph databases using Petri net-tools," Int. J. Parallel, Emergent, Distrib. Syst., vol. 36, no. 6, pp. 498–515, 2021, doi: 10.1080/17445760.2021.1934836.
- [14] S. S. Velykodniy, Zh. V. Burlachenko, and S. S. Zaitseva-Velykodna, "Reinzhyning hrafichnykh baz danykh u seredovyskhi vidkrytoi systemy avtomatyzovanoho proektuvannia BRL-CAD. Modeliuвання strukturnoi chastyny," Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho, no. 3(116), pp. 130–139, 2019.
- [15] S. S. Velykodniy, "Modeliuвання skladnykh protsesiv ta system (Chastyna 1): konspekt lektsii". Odesa: Odeskyi derzhavnyi ekolohichnyi universytet, 92 p., 2021, ISBN 978-966-186-181-6.
- [16] S. S. Velykodniy, O. S. Tymofieieva and S. S. Zaitseva-Velykodna, "Metod rozrakhunku pokaznykiv otsinky proektu pry vykonanni reinzhyningu prohramnykh system," Radioelektronika, informatyka, upravlinnia, no. 4, pp. 135–142, 2018, doi: 10.15588/1607-3274-2018-4-13.

Отримана в редакції 24.10.2025. Прийнята до друку 31.10.2025. Розміщено в інтернеті 30 березня 2026.
Received 24 October 2025. Approved 31 October 2025. Available in Internet 30 March 2026