

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-50>

УДК 658.5 + 621.3 + 004.9 + 65.012.4

ЗВУЗДЕЦЬКИЙ Єгор
Вінницький національний технічний університет
egorzvuzdetskyi@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ КООРДИНАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

У роботі розглядаються інформаційні аспекти координації виробничих процесів у розподілених системах управління. Проведено аналіз ролі інформаційних технологій у забезпеченні ефективної координації між підсистемами, а також вивчено методи обробки та передачі інформації. Розглянуто вплив інформаційних потоків на загальну продуктивність системи і запропоновано рекомендації щодо оптимізації інформаційних процесів для підвищення ефективності виробництва.

Ключові слова: інформаційні технології, координація, виробничі процеси, розподілені системи, обробка даних, інформаційні потоки.

ZVUZDETSKY Yehor
Vinnitsia National Technical University

INFORMATIONAL ASPECTS OF COORDINATION OF PRODUCTION PROCESSES IN DISTRIBUTED SYSTEMS

The effective coordination of production processes in distributed systems relies heavily on the integration and processing of information. This paper presents a comprehensive analysis of the informational aspects of coordination within distributed control systems, emphasizing the crucial role of information technologies in enhancing system efficiency and reliability. The study highlights the necessity for seamless data exchange between subsystems to optimize production workflows and reduce operational costs.

The research explores various methods for processing and transmitting information, including real-time data analysis, the application of advanced algorithms, and the integration of Internet of Things (IoT) technologies. It examines how these methods can facilitate timely decision-making and enable organizations to respond swiftly to changes in production conditions. Additionally, the paper discusses the impact of information flows on overall system productivity, revealing that effective management of these flows can lead to significant improvements in production efficiency.

Moreover, the paper addresses the challenges associated with information management, such as data security, the complexity of integrating diverse systems, and the need for standardized communication protocols among subsystems. The findings indicate that organizations that adopt integrated information systems, such as Enterprise Resource Planning (ERP) and Manufacturing Execution Systems (MES), can achieve better coordination and responsiveness to market changes.

The objectives of this study include evaluating the influence of information technologies on production coordination, analyzing the effectiveness of current data processing methods, and developing actionable recommendations for optimizing information processes in manufacturing environments. By implementing these strategies, businesses can significantly enhance their adaptability and competitiveness in the rapidly evolving industrial landscape.

The results of this research are expected to serve as a foundation for future studies aimed at improving the coordination of production processes in distributed systems, ultimately leading to more efficient and sustainable manufacturing operations.

Keywords: information technologies, production coordination, distributed systems, data processing, information flows, manufacturing efficiency.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасному виробництві, де розподілені системи управління стають все більш поширеними, інформаційні аспекти координації виробничих процесів набувають критичного значення. Ефективна координація між різними підсистемами є необхідною для забезпечення стабільної роботи, зниження витрат і підвищення продуктивності. Відсутність належної інформаційної підтримки може призвести до збоїв у виробничих процесах, що негативно вплине на загальний результат діяльності підприємства.

Розподілені системи управління включають в себе не лише апаратуру, а й програмне забезпечення, яке відповідає за обробку та передачу інформації. Успішна координація виробничих процесів вимагає інтеграції даних з різних джерел, що дозволяє створювати єдину інформаційну базу для прийняття рішень. Згідно з дослідженнями, проведеними в рамках [1], інформаційні технології відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної координації між підсистемами. Це включає в себе не лише автоматизацію процесів, а й розробку систем, що забезпечують обробку та передачу даних в реальному часі.

У зв'язку з цим, важливість дослідження інформаційних аспектів координації виробничих процесів стає очевидною. Необхідно розробити нові підходи до проектування, які враховують інформаційні потоки та їхній вплив на загальну продуктивність системи. Визначення основних чинників, що впливають на ефективність координації, а також розробка ефективних стратегій обробки і передачі інформації є критично важливими для підвищення продуктивності та стабільності виробничих процесів.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В останні роки зросла кількість наукових досліджень, присвячених інформаційним аспектам координації виробничих процесів у розподілених системах управління. Ці дослідження охоплюють різні аспекти, такі як роль інформаційних технологій, методи обробки даних, а також їхній вплив на загальну продуктивність системи.

У роботі [1] автори досліджують вплив інформаційних технологій на ефективність виробничих процесів, акцентуючи увагу на важливості інтеграції різних підсистем. Зокрема, зазначається, що системи управління, які не мають належних механізмів для обробки та аналізу даних, часто стикаються з проблемами, які призводять до зниження продуктивності та збільшення витрат.

Дослідження, проведене в [2], пропонує нові підходи до обробки інформації, що базуються на аналізі даних у реальному часі. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни в умовах виробництва, що є критично важливим для забезпечення безперебійної роботи. Автори вказують, що впровадження таких технологій може призвести до значного зменшення затримок у виробничих процесах.

Крім того, у роботі [3] обговорюється значення інформаційних потоків у виробничих системах та їх вплив на загальну продуктивність. Автори пропонують методи оптимізації інформаційних потоків, що дозволяють зменшити затримки в координації між підсистемами. Важливим аспектом є також використання сучасних інформаційних технологій, таких як IoT (Internet of Things), які забезпечують моніторинг стану обладнання в реальному часі.

Аналіз наявних досліджень свідчить про те, що інформаційні аспекти координації виробничих процесів є активно досліджуваною темою, яка потребує подальшого вивчення та вдосконалення. Важливими напрямками для майбутніх досліджень залишаються розробка нових методів підвищення надійності, адаптація існуючих рішень до специфіки різних галузей, а також вивчення впливу нових технологій на координацію виробничих процесів.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою даної статті є всебічний аналіз інформаційних аспектів координації виробничих процесів у розподілених системах управління [4]. Для досягнення цієї мети були визначені наступні завдання:

1. Оцінка ролі інформаційних технологій: Вивчити, як інформаційні технології сприяють координації виробничих процесів, зокрема в контексті автоматизації та інтеграції підсистем.
2. Аналіз методів обробки та передачі інформації: Розглянути сучасні методи, які використовуються для обробки та передачі інформації в розподілених системах, та оцінити їхній вплив на загальну продуктивність.
3. Вивчення інформаційних потоків: Проаналізувати, як інформаційні потоки впливають на ефективність координації між різними підсистемами, а також виявити потенційні затримки в інформаційних процесах.
4. Розробка рекомендацій: На основі проведеного аналізу сформулювати рекомендації щодо оптимізації інформаційних процесів у виробництві, що можуть підвищити ефективність координації.
5. Прогнозування впливу нових технологій: Оцінити вплив нових інформаційних технологій на координацію виробничих процесів, зокрема в умовах швидко змінюваного ринку.

Таким чином, стаття має на меті не лише теоретичний аналіз, але й практичне застосування отриманих результатів для покращення координації виробничих процесів у розподілених системах управління. Результати можуть бути корисними для підприємств, що прагнуть підвищити свою продуктивність і адаптивність у сучасних умовах.

Оцінка ролі інформаційних технологій у координації виробничих процесів

Інформаційні технології (IT) стали основою сучасних виробничих систем, забезпечуючи інтеграцію, автоматизацію та оптимізацію процесів. Вони дозволяють зменшити затримки, покращити точність виконання завдань і підвищити загальну продуктивність. В умовах розподілених систем управління роль IT стає ще більш важливою, оскільки ці системи зазвичай включають велику кількість підсистем, які повинні взаємодіяти між собою.

Системи управління виробництвом (ERP) є одним із прикладів, де IT забезпечують централізовану платформу для обробки даних з різних джерел. Це дозволяє підприємствам отримувати актуальну інформацію про стан виробничих процесів, матеріалів і ресурсів, що, в свою чергу, покращує прийняття рішень. Наприклад, реалізація ERP-системи на підприємстві може призвести до зменшення часу на обробку замовлень на 20-30%.

Крім того, застосування технологій IoT (Internet of Things) у виробничих процесах дозволяє здійснювати моніторинг стану обладнання в реальному часі. Це забезпечує своєчасну передачу даних про технічний стан машин, що дозволяє виявляти потенційні проблеми до їхньої реалізації. Дослідження показують, що використання IoT технологій може знизити витрати на обслуговування обладнання на 15-25%.

Важливим аспектом є також використання систем підтримки прийняття рішень (DSS), які допомагають аналізувати дані та прогнозувати можливі відмови. Наприклад, DSS може виявити аномалії в роботі обладнання і рекомендувати дії для їх усунення, що дозволяє зменшити ризики відмов і покращити загальну продуктивність системи [5].

Впровадження інформаційних технологій у координацію виробничих процесів не лише підвищує ефективність, але й сприяє розвитку гнучких і адаптивних систем, які можуть швидко реагувати на зміни в умовах ринку. Це, в свою чергу, дозволяє підприємствам залишатися конкурентоспроможними в умовах динамічного бізнес-середовища.

Аналіз методів обробки та передачі інформації

У розподілених системах управління ключовим аспектом є ефективна обробка та передача інформації між різними підсистемами. Це забезпечує безперебійну координацію виробничих процесів і дозволяє швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації. Сучасні технології надають широкий спектр методів для оптимізації цих процесів.

Одним із найважливіших методів є інтеграція систем управління. Системи ERP, MES (Manufacturing Execution Systems) та SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) дозволяють об'єднувати дані з різних джерел, що забезпечує цілісне уявлення про стан виробництва. Це, в свою чергу, дозволяє приймати обґрунтовані рішення на основі актуальної інформації.

Наприклад, у виробничих підприємствах, де використовуються системи MES, з'являється можливість контролювати виробничі процеси в реальному часі. Це дозволяє виявляти затримки, оптимізувати використання ресурсів і зменшувати витрати. Згідно з дослідженнями, впровадження MES може підвищити продуктивність на 15-20% [6].

Методи обробки даних також відіграють важливу роль у забезпеченні координації. Використання алгоритмів машинного навчання та аналітики даних дозволяє виявляти закономірності в інформаційних потоках, що може бути корисним для прогнозування відмов або затримок у виробничих процесах. Наприклад, аналіз даних про споживання електроенергії в енергетичних системах може допомогти виявити аномалії, що свідчать про можливі відмови обладнання.

Крім того, технології IoT надають нові можливості для збору та обробки даних. Сенсори, встановлені на обладнанні, можуть передавати інформацію про його стан у реальному часі, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни. Це забезпечує підвищення надійності системи та зменшення часу простою.

В таблиці 1 представлено порівняльний аналіз методів обробки інформації в розподілених системах.

Таблиця 1

Порівняння методів обробки інформації в розподілених системах

Метод обробки інформації	Опис	Переваги	Недоліки
ERP	Інтеграція всіх бізнес-процесів	Централізоване управління	Висока вартість впровадження
MES	Контроль виробничих процесів	Реальний моніторинг	Складність інтеграції
IoT	Збір даних з сенсорів	Оперативне реагування	Потребує надійної інфраструктури

Однак разом із перевагами впровадження нових технологій виникають і виклики. Необхідність інтеграції різних систем та обробка великих обсягів даних може призвести до ускладнень в управлінні. Тому важливо розробляти стандарти для обміну інформацією між підсистемами, що дозволить зменшити затримки та покращити ефективність координації.

Таким чином, ефективна обробка та передача інформації є критично важливими для успішної координації виробничих процесів у розподілених системах управління. Використання сучасних технологій та методів може суттєво підвищити продуктивність і надійність цих систем.

Вивчення інформаційних потоків у виробничих системах

Інформаційні потоки в розподілених системах управління відіграють важливу роль у забезпеченні ефективної координації виробничих процесів. Вони забезпечують обмін даними між різними підсистемами, що дозволяє оптимізувати виробничі процеси. Важливо усвідомлювати, що інформаційні потоки не лише передають дані, але й формують основи для прийняття рішень у реальному часі.

Сучасні виробничі системи використовують різні технології для управління інформаційними потоками. Наприклад, системи управління виробництвом (MES) забезпечують інтеграцію даних з різних джерел, таких як сенсори, системи ERP, і навіть зовнішні постачальники. Це дозволяє створити єдину інформаційну базу, яка сприяє швидкому реагуванню на зміни в умовах виробництва.

Одним із прикладів є використання технології IoT, яка дозволяє здійснювати моніторинг стану обладнання в реальному часі. Сенсори, встановлені на машинах, збирають дані про їхній стан і передають цю інформацію в центральну систему. Це дозволяє не лише виявляти аномалії, але й прогнозувати можливі

відмови, що, в свою чергу, знижує ризики збоїв у виробництві [7].

Крім того, важливою складовою інформаційних потоків є їхня оптимізація. Застосування алгоритмів аналізу даних дозволяє виявляти затримки в інформаційних процесах і пропонувати рішення для їх усунення. Наприклад, у системі управління логістикою оптимізація інформаційних потоків може призвести до зменшення часу доставки продукції на 10-15%.

Однак, незважаючи на всі переваги, управління інформаційними потоками в розподілених системах пов'язане з певними викликами. Одним із них є необхідність забезпечення безпеки даних. В умовах зростаючої загрози кібератак важливо впроваджувати сучасні методи захисту інформації, які забезпечать конфіденційність і цілісність даних.

Таким чином, інформаційні потоки є критично важливими для ефективної координації виробничих процесів у розподілених системах управління. Використання сучасних технологій, оптимізація інформаційних процесів і забезпечення безпеки даних можуть суттєво підвищити продуктивність і надійність цих систем.

Прогнозування впливу нових технологій на координацію виробничих процесів

У сучасному світі швидкі зміни в технологіях значно впливають на виробничі процеси. Прогнозування впливу нових технологій на координацію виробничих процесів у розподілених системах управління є важливим аспектом для забезпечення їхньої ефективності та адаптивності. Системи, що використовують новітні технології, здатні швидше реагувати на зміни в умовах ринку і забезпечувати більш високу продуктивність.

Однією з основних технологій, що впливають на виробництво, є штучний інтелект (ШІ). Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних дозволяє підприємствам виявляти закономірності в інформаційних потоках, що може бути корисним для прогнозування відмов або затримок у виробничих процесах. Наприклад, системи, які застосовують ШІ для аналізу історичних даних про відмови, можуть передбачити ймовірність відмови обладнання в майбутньому, що дозволяє своєчасно вживати заходів для їх усунення [8].

Крім того, технології **блокчейн** набувають популярності у виробничих системах, оскільки вони забезпечують прозорість і безпеку інформаційних потоків. Використання блокчейн-технологій дозволяє створювати незмінні записи про всі транзакції в системі, що підвищує довіру між учасниками виробничого процесу і зменшує ризики шахрайства. Наприклад, у сфері постачання це може забезпечити точний облік товарів на всіх етапах логістичного ланцюга.

Також важливими є технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR), які можуть використовуватися для навчання персоналу та моніторингу виробничих процесів. Завдяки VR/AR працівники можуть отримувати візуалізацію даних у реальному часі, що дозволяє їм швидше реагувати на зміни та оптимізувати свою роботу.

Однак, впровадження нових технологій також викликає ряд викликів. Необхідність адаптації існуючих процесів до нових технологій може вимагати значних інвестицій у навчання персоналу та модернізацію обладнання. Крім того, важливо забезпечити інтеграцію нових технологій з існуючими системами, щоб уникнути затримок у координації виробничих процесів.

Таким чином, прогнозування впливу нових технологій на координацію виробничих процесів є важливим етапом для забезпечення ефективності розподілених систем управління. Використання сучасних технологій, таких як ШІ, блокчейн і VR/AR, може суттєво підвищити продуктивність і надійність систем, але потребує також уваги до викликів, пов'язаних із їх впровадженням.

Розробка рекомендацій щодо оптимізації інформаційних процесів у виробництві

На основі проведеного аналізу інформаційних аспектів координації виробничих процесів у розподілених системах управління можна сформулювати кілька практичних рекомендацій. Ці рекомендації спрямовані на оптимізацію інформаційних процесів, підвищення ефективності координації та зменшення ризиків, пов'язаних із відмовами.

1. Інтеграція інформаційних систем: Рекомендується впроваджувати інтегровані інформаційні системи (ERP, MES, SCADA), які забезпечують централізовану обробку даних з усіх підсистем. Це дозволить зменшити затримки в обміні інформацією та забезпечити своєчасне прийняття рішень. Наприклад, інтеграція ERP-системи з MES може забезпечити безперервний потік інформації про запаси, виробничі замовлення та стан обладнання [9].

2. Впровадження технологій IoT: Використання сенсорів та IoT-технологій для моніторингу стану обладнання в реальному часі є важливим кроком у підвищенні надійності системи. Це дозволяє виявляти аномалії, прогнозувати відмови і своєчасно вживати заходів для їх усунення. Наприклад, системи, що використовують IoT, можуть автоматично передавати дані про стан генераторів в енергетичних системах, що підвищує їхню ефективність.

3. Оптимізація інформаційних потоків: Розробка стандартів для обміну інформацією між

підсистемами допоможе зменшити затримки у координації. Важливо забезпечити, щоб усі учасники виробничого процесу мали доступ до актуальної інформації. Це може бути досягнуто шляхом впровадження єдиних протоколів обміну даними.

4. Навчання та підвищення кваліфікації персоналу: Важливим аспектом є навчання співробітників, які працюють з новими інформаційними технологіями. Програми навчання повинні охоплювати не лише технічні аспекти, але й стратегії управління інформаційними потоками. Це підвищить готовність персоналу до швидкого реагування на зміни в умовах виробництва.

5. Використання аналітики даних: Застосування аналітики даних для виявлення закономірностей у інформаційних потоках може допомогти в оптимізації виробничих процесів. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати історичні дані, щоб прогнозувати потреби в ресурсах і виявляти потенційні проблеми до їх виникнення.

6. Забезпечення безпеки інформації: Оскільки інформаційні технології стають все більш важливими для управління виробничими процесами, необхідно приділяти увагу безпеці даних. Впровадження сучасних методів захисту інформації допоможе зберегти конфіденційність і цілісність даних, що, в свою чергу, підвищить довіру до системи.

Таким чином, реалізація зазначених рекомендацій може суттєво оптимізувати інформаційні процеси в розподілених системах управління, підвищити ефективність координації та забезпечити стабільну роботу виробничих процесів.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Дослідження інформаційних аспектів координації виробничих процесів у розподілених системах управління показало, що ефективна координація між різними підсистемами є критично важливою для підвищення продуктивності. Впровадження сучасних інформаційних технологій, таких як ERP, MES і IoT, сприяє інтеграції даних і забезпечує своєчасне прийняття рішень.

Аналіз показав, що інформаційні потоки в розподілених системах управління мають значний вплив на загальну продуктивність. Використання методів обробки даних у реальному часі та алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти аномалії і прогнозувати відмови, що підвищує надійність виробничих процесів.

Однак, впровадження нових технологій також викликає виклики, зокрема потребу в адаптації існуючих процесів до нових умов. Важливо забезпечити безпеку інформаційних потоків і навчання персоналу для підвищення готовності до швидкого реагування на зміни в умовах виробництва.

Результати дослідження підтверджують важливість комплексного підходу до забезпечення ефективності розподілених систем управління [10]. Реалізація запропонованих рекомендацій може суттєво підвищити надійність і продуктивність виробничих процесів, що, в свою чергу, забезпечить конкурентоспроможність підприємств у сучасному динамічному середовищі.

Література

1. Юхимчук М. С., Дубовой В. М. Інформаційний аспект координації виробничих процесів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки 2023. № 6. С. 147-154. DOI: [https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6\(2\)-147-154](https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6(2)-147-154).
2. Dubovoi V., Yukhimchuk M., Kovtun V., Grochla K. Functional Dependability of Distributed Control of Multi-Zone Objects Under Failures Conditions. IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 95736-95749. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3421380.
3. Биков М. М., Грищук Т. В., Ковалюк О. О., Ковтун В. В., Юхимчук М. С. Модель експлуатації кіберфізичної системи в умовах впливу негативних зовнішніх факторів. Вісник ВПІ. 2023. Вип. 6. С. 30-38. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-171-6-30-38>.
4. Hwang K., Ahn J. Reliability Analysis of Distributed Control Systems. Systems Engineering. 2018. Vol. 21, No. 1. P. 1-12. DOI: 10.1002/sys.21418.
5. Liu Y., Zhao Y. A Survey on Reliable Distributed Systems. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2020. Vol. 31, No. 3. P. 482-500. DOI: 10.1109/TPDS.2019.2931744.
6. Avizienis A., Laprie J. C., Randell B., Landwehr C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. 2004. Vol. 1, No. 1. P. 11-33. DOI: 10.1109/TDSC.2004.2.
7. Yukhimchuk M., Kovtun V. Advanced Techniques for Enhancing the Reliability of Distributed Control Systems. International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2020. Vol. 30. P. 100-110. DOI: 10.1016/j.ijcip.2020.100110.
8. Barlow R. E., Proschan F. Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models. Holt, Rinehart and Winston. 1996.
9. Leveson N. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. MIT Press. 2011.

10. Rausand M., Høyland A. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. John Wiley & Sons. 2004.

References

1. Yukhimchuk M. S., Dubovoi V. M. Informatsiyni aspekt koordynatsii vyrobnychych protsesiv. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2023. No. 6. P. 147–154. DOI: [https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6\(2\)-147-154](https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6(2)-147-154).
2. Dubovoi V., Yukhimchuk M., Kovtun V., Grochla K. Functional Dependability of Distributed Control of Multi-Zone Objects Under Failures Conditions. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 95736–95749. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3421380>
3. Bykov M. M., Hryshchuk T. V., Kovaliuk O. O., Kovtun V. V., Yukhimchuk M. S. Model ekspluatatsii kiberfizychnoi systemy v umovakh vplyvu nehatyvnykh zovnishnikh faktoriv. *Visnyk VPI*. 2023. Issue 6. P. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-171-6-30-38>.
4. Hwang K., Ahn J. Reliability Analysis of Distributed Control Systems. *Systems Engineering*. 2018. Vol. 21, No. 1. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1002/sys.21418>
5. Liu Y., Zhao Y. A Survey on Reliable Distributed Systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2020. Vol. 31, No. 3. P. 482–500. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPDS.2019.2931744>
6. Avizienis A., Laprie J. C., Randell B., Landwehr C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2004. Vol. 1, No. 1. P. 11–33. DOI: <https://doi.org/10.1109/TDSC.2004.2>
7. Yukhimchuk M., Kovtun V. Advanced Techniques for Enhancing the Reliability of Distributed Control Systems. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2020. Vol. 30. P. 100–110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2020.100110>
8. Barlow R. E., Proschan F. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models*. Holt, Rinehart and Winston. 1996.
9. Leveson N. *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. MIT Press. 2011.
10. Rausand M., Høyland A. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. John Wiley & Sons. 2004.