

УДК 519.718

О.В. ГЕДЗЬ\*

## ДО ПИТАНЬ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ В КОМУНАЛЬНІЙ СФЕРІ

\*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

**Анотація.** Стаття присвячена питанню використання атрибутивної моделі оцінки гарантоздатності комп'ютерних систем до розробленого в ІПММС НАН України та впровадженого на новобудовах м. Києва комплексу апаратних та програмних засобів для побудови систем диспетчеризації ліфтів та іншого інженерного обладнання в комунальній сфері. Особливістю створених засобів є зорієнтованість на взаємодію між окремими елементами системи та центральним автоматизованим робочим місцем диспетчера через існуючі локальні та глобальну мережі. Створені апаратні та програмні засоби дозволяють легко включати в диспетчерську систему вже існуючі будівлі та зменшувати витрати на диспетчеризацію при проектуванні нових житлових комплексів. Розглянуто основні вимоги та принципи побудови системи диспетчеризації. У статті досліджуються проблеми та стратегії підвищення надійності системи диспетчеризації інженерних систем комунальної сфери. Такі системи характерні безперервним циклом функціонування та відносяться до систем критичного використання. Атрибутивна модель гарантоздатності комп'ютерних систем є одним із найважливіших етапів оцінки гарантоздатності та дозволяє визначити необхідність використання тих чи інших характеристик (атрибутів). Від повноти та адекватності застосовуваної системи характеристик залежить достовірність одержуваної оцінки гарантоздатності. Зроблено оцінку атрибутів гарантоздатності коефіцієнта готовності, обслуговуваності, сумісності та їх вплив на загальні показники. Розглянуто специфіку широкого використання однокристальної мікро-ЕОМ при побудові системи. Визначено позитивний та негативний впливи при роботі програмного забезпечення в однокристальних мікро-ЕОМ без використання операційної системи на згадані атрибути та їх метрики.

**Ключові слова:** атрибутивна модель, гарантоздатність, атрибути, метрики, однокристальна мікро-ЕОМ, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, сумісність.

**Abstract.** The present article is devoted to the issue of using an attribute model for assessing the dependability of computer systems. The model was developed at the Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine and implemented in new buildings in Kyiv for building dispatching systems for elevators and other engineering equipment in the municipal sector. The distinguishing characteristic of the developed tools is their focus on the interaction between individual elements of the system and the central automated workplace of the dispatcher through existing local and global networks. The created hardware and software facilitate the incorporation of existing buildings into the dispatching system and contribute to a reduction in dispatching costs during the design of new residential complexes. The paper studies the fundamental requirements and principles underlying the construction of a dispatching system. It delves into the challenges encountered and proposes strategies for enhancing the reliability of the dispatching system of utility engineering systems. Such systems are distinguished by a continuous cycle of operation and are defined as critical systems. The attribute model of computer systems dependability is a pivotal component of dependability assessment, enabling the determination of the necessity to employ specific characteristics (attributes). The dependability of the obtained reliability assessment is contingent upon the completeness and adequacy of the utilized system of characteristics. The following dependability attributes have been evaluated: availability, maintainability, compatibility, and their impact on the overall performance. The specifics of the widespread use of single-chip microcomputers in the construction of the system have been considered. The positive and negative impacts of operating software on single-chip microcomputers without the use of an operating system have been identified in relation to the mentioned attributes and their metrics.

**Keywords:** attribute model, dependability, attributes, metrics, single-chip microcomputer, availability factor, technical utilization factor, compatibility.

## 1. Вступ

Ускладнення діяльності комунальних підприємств потребує ефективніших систем диспетчеризації для забезпечення розподілу ресурсів, своєчасного реагування на інциденти та збільшення загальної надійності систем. Несправності можуть мати серйозні наслідки як для постачальників послуг, так і для кінцевих користувачів. Системи диспетчеризації вже є невід'ємною частиною функціонування комунального сектора, тому необхідно визначити точні критерії оцінки їхньої надійності та вплив кожного конкретного критерію на рівень їх гарантоздатності. У статті досліджуються проблеми та стратегії підвищення надійності системи диспетчеризації інженерних систем комунальної сфери. Зроблено оцінку деяких атрибутів гарантоздатності розробленої та впровадженої системи диспетчеризації з використанням атрибутивної моделі.

## 2. Основні принципи побудови системи диспетчеризації

В ПІММС НАН України був створений та впроваджений комплекс апаратних та програмних засобів для побудови систем диспетчеризації ліфтів та іншого інженерного обладнання в комунальній сфері. Структурну схему системи диспетчеризації, побудовану з використанням мережі Ethernet як середовища передачі інформації, наведено на рис. 1.

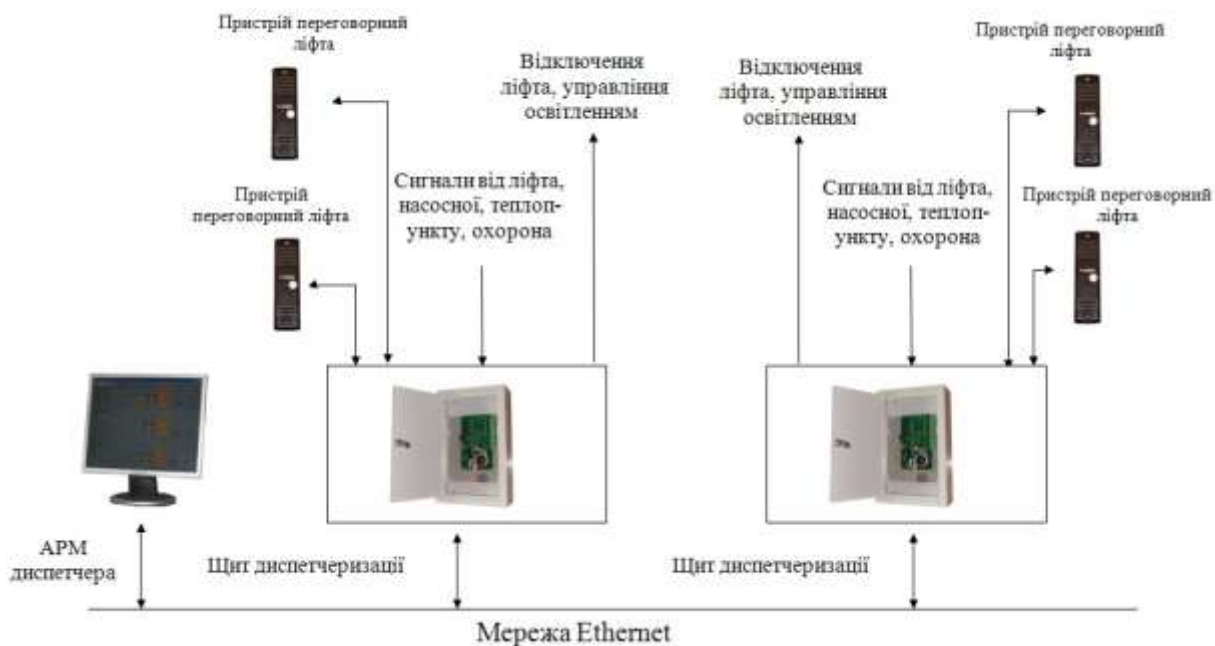


Рисунок 1 — Структурна схема системи диспетчеризації

Основним вузлом для побудови комплексної системи диспетчеризації є центральний комунікаційний контролер. На рис. 2 показано зовнішній вигляд контролера в складі типового щита диспетчеризації. Контролер призначений для:

- переводу аналогового голосового сигналу в цифрову форму;
- формування аналогового голосового сигналу з мережевих пакетів;
- забезпечення двостороннього голосового зв'язку з АРМ диспетчера через локальну або глобальну мережу;
- передачі технологічної інформації на АРМ диспетчера;
- формування керуючих сигналів по команді від АРМ диспетчера;

– формування технологічної мережі на базі стандарту ANSI TIA/EIA-485-A:1998 з підтримкою протоколу MODBUS.



Рисунок 2 — Щит диспетчеризації (зліва) поряд з автоматикою ліфта

Особливістю створених засобів є зорієнтованість на взаємодію між окремими елементами системи та центральним автоматизованим робочим місцем диспетчера через існуючі локальні та глобальну мережу. Зокрема, як лінії зв'язку були використані розвинені в наш час комунікації для доступу до мережі інтернет. Такий підхід дозволив на транспортному рівні задіяти всю наявну інфраструктуру існуючих мереж. Наприклад, диспетчер територіально може знаходитись у довільній місцевості, при цьому обслуговуючи райони мегаполісів. Для цього достатньо в місці розташування АРМ диспетчера забезпечити доступ до мережі інтернет. Створені апаратні та програмні засоби дозволяють легко включати в диспетчерську систему вже існуючі будівлі та зменшувати витрати на диспетчеризацію при проєктуванні нових житлових комплексів. При цьому транспортування голосової та технологічної інформації забезпечують провайдери, які надають доступ до інтернету в даній місцевості.

Але зменшення витрат на реалізацію передачі технологічної та службової інформації в системі диспетчеризації викликало ускладнення загальної оцінки надійності роботи системи в цілому. Це пов'язано зі складністю оцінки надійності роботи апаратних та програмних засобів інтернет-провайдерів. Період нестабільного енергопостачання виявив різну стійкість підтримки каналів зв'язку у представлених на ринку провайдерів.

Закладені під час проєктування системи рішення сприяли підвищенню надійності роботи комплексної системи диспетчеризації. Зокрема, було реалізовано:

- достовірність визначених показників;
- стійкість системи до відмов обладнання та запобігання критичним відмовам на її виходах;
- контроль працездатності та сигналізація відмов будь-якого функціонального блока та системи в цілому;
- автоматичний перехід у захисний стан при відмові апаратури;
- антивандальна стійкість обладнання та технічних засобів.

На відміну від рішень, заснованих на ЕОМ з операційною системою та спеціальним програмним забезпеченням для організації голосового зв'язку через інтернет, у впровадженій системі кінцевий абонентський пристрій виконано на базі однокристальної мікро-ЕОМ. Такий підхід забезпечує компактність, енергоефективність та надійність роботи пристрою, знижуючи залежність від складних програмних компонентів та операційної системи.

Це знизило вартість системи в цілому та дозволило суттєво швидше переходити до робочого режиму після подачі живлення або аварійного перезавантаження. Використання однокристальних мікро-ЕОМ передбачає невелику потужність споживання, що дозволяє забезпечити роботу системи автономно в разі аварії електромережі. При цьому була реалізована, крім голосового каналу, передача інформації з різноманітних датчиків та форму-

вання команд керування обладнанням. Запропонована система стійка до несанкціонованого дистанційного доступу до програмного забезпечення. Так, для зміни програмного забезпечення необхідні спеціальне обладнання та фізичний доступ до друкованої плати, на якій розміщена однокристальна мікро-ЕОМ. Система диспетчеризації реалізована у вигляді розподіленої обчислювальної структури. Для взаємодії між компонентами такої структури застосовуються багаторангові технологічні мережі на базі інтерфейсу RS-485. Завдяки своїй надійності, гнучкості та невисокій вартості, — це одне з найпоширеніших рішень для обміну даними між компонентами системи. Основною його особливістю є можливість організації мереж із великою кількістю пристроїв (до 32 на одному сегменті), що сприяє ефективному управлінню та моніторингу багатьох об'єктів у рамках єдиної мережі. Важливим фактором, що впливає на надійність систем, які використовують RS-485, є його стійкість до електромагнітних перешкод і здатність передавати дані на значні відстані (до 1200 метрів) без використання підсилювачів. Це особливо важливо для складних комунальних об'єктів із великою кількістю датчиків та виконавчих механізмів, розташованих на різних ділянках. Однак варто враховувати й недоліки цього протоколу, такі як напівдуплексний режим роботи (одночасна передача та прийом даних неможливі), що може призводити до затримок та зниження швидкості обміну інформацією у високонавантажених системах.

Надійність систем, що працюють на основі RS-485, багато в чому залежить від правильної конфігурації мережі, довжини кабелів та екранування, а також від застосування відповідних захисних механізмів, як-от трансформаторні розв'язки та мережеві фільтри, що запобігають пошкодженню обладнання у разі перепадів напруги або короткого замикання. Відмовостійкість мережі підвищується за можливості застосування кільцевих та інших топологій, що забезпечують можливість обходу пошкоджених сегментів. При побудові системи диспетчеризації у комунальній сфері критично важливою стає взаємодія всіх її компонентів. Надійні контролери з алгоритмами самодіагностики повинні бути інтегровані з протоколами передачі даних, що забезпечують стабільний та стійкий обмін інформацією у несприятливих умовах. Взаємодія контролерів та протоколів на базі RS-485 вимагає розробки програмних рішень, які здатні оптимізувати процеси передачі даних та керувати конфліктами у мережі.

### **3. Методи підвищення надійності систем**

Одним із найефективніших прийомів підвищення надійності систем є резервування та відмовостійкість. Реалізація резервування критично важливих компонентів та впровадження стійких до відмови механізмів можуть значно підвищити надійність систем диспетчеризації. Це забезпечує безперервну роботу навіть за наявності апаратних збоїв чи непередбачених помилок.

Важливим фактором також є комплексні протоколи тестування. Суворі протоколи тестування, включаючи модульне тестування, інтеграційне тестування та стрес-тестування, необхідні для виявлення та усунення потенційних проблем перед розгортанням системи. Постійне тестування протягом усього життєвого циклу розробки програмного забезпечення має вирішальне значення задля забезпечення надійності системи. Регулярні оновлення та обслуговування програмного забезпечення життєво важливі для усунення загроз безпеки, виправлення вразливостей та підвищення продуктивності системи. Система диспетчеризації, що добре обслуговується, краще пристосована для вирішення завдань, що виникають, і підтримки гарантоспроможності з плином часу.

#### 4. Основні критерії забезпечення гарантоздатності систем

Продуктивність програмного забезпечення системи диспетчеризації має вирішальне значення для оптимізації розподілу ресурсів, як-от бригади технічного обслуговування, транспортні засоби та обладнання. Висока продуктивність забезпечує швидке реагування на запити обслуговування і зводить до мінімізації простоїв, сприяє загальній ефективності комунального сектора. Враховуючи різноманітний характер послуг у комунальній сфері, диспетчерські системи мають органічно інтегруватися з різними підсистемами, базами даних та каналами зв'язку. Функціональна сумісність забезпечує безперебійну взаємодію між різними компонентами, що приводить до покращення зв'язку, обміну даними та загальної ефективності системи. Диспетчерське програмне забезпечення має бути стійким до будь-якого несанкціонованого зовнішнього впливу, зокрема, до різних видів хакерських атак. Надійні системи стабільно працюють належним чином у різних умовах та зводять до мінімуму ризику збоїв в обслуговуванні.

#### 5. Основна частина дослідження

##### 5.1. Готовність

Використання мікро-ЕОМ та вбудованого програмного забезпечення позитивно вплинули на ряд важливих для систем диспетчеризації атрибутів гарантоздатності. Так, у відповідності з [1], коефіцієнт готовності  $K_z$  — імовірність того, що об'єкт опиниться у працездатному стані у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається.

$$K_z = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_e}, \quad (1)$$

де  $T_{cp}$  — середнє напруцювання на відмову (час роботи без збоїв) системи,  $T_e$  — середній час відновлення системи.

Показник  $T_e$  при побудові системи на базі ЕОМ традиційної архітектури складає не менше двох години. Адже при цьому необхідно, крім робіт по фізичній заміні обладнання, здійснити налаштування програмного забезпечення. В той же час на практиці було перевірено, що в разі виходу з ладу модуля на базі однокристальної мікро-ЕОМ показник  $T_e$  становить менше 10 хвилин, що, як видно з (1), покращує атрибут коефіцієнта готовності.

##### 5.2. Обслуговуваність

Ще одним важливим атрибутом для систем із безперервним циклом функціонування та систем критичного використання є обслуговуваність [2].

У табл. 1 наведено набір спеціальних метрик обслуговуваності, що враховують властивість системи.

Таблиця 1 — Перелік метрик атрибута обслуговуваність

| № п/р | Найменування метрики                           |
|-------|------------------------------------------------|
| 1     | Тривалість технічного обслуговування, $T_{mo}$ |
| 2     | Середній час відновлення, $T_e$                |
| 3     | Коефіцієнт технічного використання, $K_{me}$   |

Тривалість технічного обслуговування,  $T_{mo}$  — середній час виконання робіт з обслуговування системи, передбачений технічною документацією.

Середній час відновлення,  $T_{\text{с}}$  — проміжок часу, витрачений на відновлення працездатного стану системи або його складової частини після відмови.

Коефіцієнт технічного використання,  $K_{\text{тв}}$  — відношення математичного очікування інтервалів часу перебування системи в працездатному стані за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань інтервалів часу простоїв, техобслуговування і ремонтів.

$$K_{\text{тв}}(t) = K_{\text{г}}(t) \frac{t_{\text{д}}}{t_{\text{н}}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{г}}(t)$  — коефіцієнт готовності системи,  $t_{\text{н}}$  — річний номінальний фонд часу, протягом якого об'єкт може використовуватися за призначенням,  $t_{\text{д}}$  — річний дійсний фонд часу роботи об'єкта, який дорівнює номінальному фонду за вирахуванням простоїв, пов'язаних із проведенням планового технічного обслуговування (періодичних профілактик) і ремонту.

Як видно з (2), широке використання в системі диспетчеризації рішень на базі однокристальних мікро-ЕОМ покращує коефіцієнт готовності системи. Адже крім швидкої заміни модулів у разі несправності також зменшується час на планове технічне обслуговування. Більш ефективно в порівнянні з рішеннями, де використовуються операційні системи, використання обчислювальних ресурсів збільшило енергоефективність системи, що дозволило не використовувати рухомі елементи для інтенсифікації охолодження компонентів системи. Це спростило та пришвидшило регламентні роботи при плановому технічному обслуговуванні.

### 5.3. Сумісність

Покращення описаних вище атрибутів призвело до погіршення атрибуту сумісність (compatibility) [3]. Даний атрибут показує здатність продукту, системи або компонента обмінюватися інформацією з іншими продуктами, системами або компонентами та/або виконувати необхідні функції при спільному використанні цих самих апаратних засобів. Метрики сумісності:

- співіснування (co-existence) (здатність продукту спільно функціонувати з другими незалежними продуктами у спільному середовищі з розподіленням спільних ресурсів і без негативного впливу на будь-який продукт);
- функціональна сумісність (interoperability) (здатність двох або більше систем, продуктів або компонентів обмінюватися інформацією та використовувати таку інформацію).

Вибір однокристальної мікро-ЕОМ як базової платформи для побудови системи диспетчеризації призвів до суттєвих обмежень щодо здатності спільного використання апаратних засобів. Це пов'язано насамперед із високим рівнем інтеграції периферійних апаратних ресурсів, оперативної та постійної пам'яті з безпосередньо процесором. Гарвардська архітектура однокристальних мікро-ЕОМ та відсутність операційної системи суттєво обмежують можливості спільно функціонувати з другими незалежними програмними продуктами. Тому значення метрики співіснування дорівнює нулю. З метою здешевлення системи та зменшення обчислювального навантаження на однокристальні мікро-ЕОМ мережева взаємодія між блоками системи на рівні будівлі здійснюється з використанням внутрішнього протоколу. Це ускладнює інтеграцію з обладнанням сторонніх виробників. Тому метрика функціональна сумісність для запропонованих рішень має незначне значення.

## 6. Висновки

Оцінка окремих атрибутів у випадку спеціалізованих комп'ютерних систем дозволяє здійснити аналіз неочевидних на перший погляд якостей складних програмно-апаратних комплексів. Для різного класу систем визначними будуть різні групи атрибутів. На прикладі аналізу деяких атрибутів та метрик комплексу апаратних і програмних засобів для побудови систем диспетчеризації ліфтів та іншого інженерного обладнання в комунальній сфері видно, що певні інженерні рішення можуть покращувати одні групи атрибутів при погіршенні інших. При оптимізації атрибутів у відповідності до класу та призначення комп'ютерних систем атрибутивна модель оцінки гарантоздатності являє собою потужний інструмент дослідження ефективності інженерних рішень. Обчисливши кількісну оцінку рівня гарантоспроможності, можна зробити вибір на користь тій чи іншій версії програмного рішення диспетчеризації. Наприклад, програмне рішення, яке відрізняється функціональною сумісністю, може отримати більш високий бал у загальній оцінці, що відображає його гарантоспроможність у галузі комунальної сфери. Такий підхід можна використовувати для прийняття обґрунтованих рішень, вибираючи програмні версії, що відповідають конкретним потребам та пріоритетам комунальної сфери.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Федухин А.В., Сеспедес Гарсия Н.В. Атрибуты и метрики гарантоспособных компьютерных систем. *Математичні машини і системи*. 2013. № 2. С. 195–201.
2. Федухин А.В. Экспертная оценка уровня гарантоспособности компьютерных систем. *Математичні машини і системи*. 2019. № 2. С. 131–147.
3. Редковська М.М., Федухін О.В. Атрибутивна модель оцінки гарантоздатності програмного забезпечення з урахуванням ДСТУ ISO/IEC 25051:2016. 2023. № 3. С. 115.

*Стаття надійшла до редакції 10.04.2025*