

# ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

*Роянов О. М., к.т.н., доц., Богатов О. І., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет);*

*Катунін А. М., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба)*

**Анотація.** Розглянуто питання сучасного стану автомобільних систем контролю та керування, а також джерела виникнення завад в цих системах. Сформульовано основні характеристики завадостійкості та запропоновано методи підвищення завадостійкості цих систем.

**Ключові слова:** електронні системи контролю, автоматизовані системи допомоги та безпеки, завади автомобільних систем керування.

**Abstract.** This paper examines the current state of automotive control and management systems, as well as the sources of interference in these systems. It identifies the key characteristics of interference immunity and proposes methods for improving the interference immunity of these systems.

**Keywords:** electronic control unit, advanced driver assistance systems, malfunctions in vehicle control systems.

**Вступ.** Сучасні автомобілі є складними системами, що поєднують електронні, програмні та механічні компоненти. Значна кількість функцій контролю та керування реалізується за допомогою електронних блоків управління, цифрових шин передачі даних і сенсорних систем. У таких умовах ключового значення набуває завадостійкість, яка визначає здатність системи зберігати працездатність і точність функціонування під впливом електромагнітних та інших видів завад.

Завадостійкість характеризує внутрішню здатність системи протистояти впливу завад та відновлювати нормальний режим роботи.

**Аналіз стану питання.** Проблеми завадостійкості обумовлені стрімким розвитком автомобільної електроніки, зокрема систем допомоги водієві, автономного керування, електронного керування силовими агрегатами та мережових комунікацій. Збільшення кількості електронних компонентів та підвищення щільності їх розміщення призводить до зростання рівня електромагнітних завад і взаємного впливу елементів.

Надійність функціонування таких систем безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху. Збої в роботі антиблокувальної системи гальм, системи стабілізації чи керування двигуном можуть призвести до аварійних ситуацій. Тому забезпечення високого рівня завадостійкості є одним із пріоритетних завдань сучасного автомобілебудування [1].

**Мета роботи:** дослідження факторів, що впливають на завадостійкість автомобільних систем контролю та керування, а також визначення ефективних методів її підвищення.

**Методики, матеріали і результати досліджень.** Сучасний стан розвитку автомобільних систем характеризується переходом до високошвидкісних інформаційних мереж. У системах контролю та керування автомобілем впроваджується інтеграція автономних функцій, отримує бурхливий розвиток штучний інтелект. Розвиток і впровадження цих інновацій призводить до збільшення кількості сенсорів. Це підвищує вимоги до завадостійкості та ускладнює забезпечення стабільної роботи систем.

Склад сучасних систем контролю та керування автомобілем в основному представлено двома підсистемами: електронні системи контролю (Electronic Control Unit, ECU) та автоматизовані системи допомоги та безпеки (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS).

Комплекс цих електронних підсистем призначені для контролю навколишнього середовища, оцінки його стану та коригування дій водія, а також для допомоги водієві, щодо підвищення безпеки за допомогою камер, радарів і датчиків.

Склад елементів, принципи дії та особливості режимів їх роботи призводить до особливостей побудови, функціонування та обміну інформацією системи контролю та керування в цілому. При організації інформаційного обміну в цих підсистемах виникають взаємні впливи даних вимірювань, хибні вимірювання та інші випадкові завади, які можуть призвести до формування хибної команди на керування.

З огляду високих вимог до команд на керування стають важливими завдання:

- визначення основних джерел завад у транспортних засобах;
- аналізу механізмів впливу завад на системи керування;
- оцінка рівню завадостійкості сучасних автомобільних систем;
- розробка технічних та програмних засобів підвищення завадостійкості;
- визначення шляхів розвитку технологій у цьому напрямку.

Умовно джерела завад можна поділити на внутрішні та зовнішні (табл. 1):

Таблиця 1

Джерела завад автомобільних систем контролю та керування

Внутрішні джерела	Зовнішні джерела
<ul style="list-style-type: none"> <li>• система запалювання;</li> <li>• електродвигуни та виконавчі механізми;</li> <li>• імпульсні джерела живлення;</li> <li>• комутаційні процеси;</li> <li>• цифрові шини (CAN, LIN, FlexRay, Automotive Ethernet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• радіочастотні випромінювання;</li> <li>• мобільний зв'язок;</li> <li>• електромагнітні поля промислових об'єктів;</li> <li>• атмосферні явища;</li> <li>• інші транспортні засоби</li> </ul>

Завади впливають на системи шляхом:

- наведення паразитних струмів і напруг;

- спотворення сигналів від датчиків;
- виникнення похибок при передачі цифрових даних;
- порушення режимів роботи мікроконтролерів;
- старіння базових елементів або тимчасової відмови підсистем.

Особливо небезпечними є імпульсні завади та електростатичні розряди, які можуть викликати короточасні, але критичні збої, що може призвести до критичних режимів роботи.

З огляду джерел виникнення завад та характер їх впливу на систему контролю та керування автомобілем можна сформулювати основні характеристики щодо її завадостійкості:

- здатність зберігати функціональність при впливі завад;
- рівень допустимих спотворень сигналів;
- ймовірність виникнення похибок;
- час відновлення після впливу;
- стійкість до різних типів електромагнітних впливів.

Для підвищення завадостійкості можна запропонувати наступні методи: конструктивні, схемотехнічні, програмні, організаційні.

Конструктивні поєднують в собі екранування електронних компонентів, оптимізація трасування провідників, використання заземлення та еквіпотенціальних систем, мінімізація петель струму.

Схемотехнічні методи, які реалізують фільтрацію сигналів, використовують стабілізатори напруги, застосовують захисні елементи, а також резервують канали передачі сигналів та даних.

У програмних методах виконується контроль і корекція похибок, закладені алгоритми діагностики, виконується дублювання критичних даних, а також використовуються адаптивні алгоритми обробки сигналів.

Організаційні заходи повинні передбачати дотримання стандартів електромагнітної сумісності, випробування систем та сертифікацію продукції.

Реалізація запропонованих методів під час впровадження буде стикатися з можливими проблемами:

- високий рівень електромагнітних завад;
- складність інтеграції електронних систем;
- обмеження за масою та енергоспоживанням;
- необхідність забезпечення функціональної безпеки;
- вплив зовнішніх факторів.

З урахуванням запропонованих методів підвищення завадостійкості автомобільних систем контролю та керування можна передбачити перспективні напрямки розвитку в цьому напрямку:

- розробка нових матеріалів для захисту;
- впровадження адаптивних систем;
- використання інтелектуальних алгоритмів;
- створення цифрових моделей;
- удосконалення стандартів.

**Висновки.** Завадостійкість сучасних автомобільних систем контролю та керування є ключовим фактором забезпечення їх надійності та безпеки. В умовах зростання складності електронних систем і електромагнітного навантаження підвищення завадостійкості потребує комплексного підходу, що включає технічні, програмні та організаційні заходи.

В статті було проаналізовано сучасні системи контролю та керування автомобілем, джерела завад, які виникають під час їх роботи, та запропоновано методи підвищення завадостійкості сучасних систем контролю та керування авто для підвищення їх безпеки.

### Література

1. Про стандартизацію. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 05.05.2026).

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ (MIFFLIN-ST GEOR, HARRIS-BENEDICT) ДЛЯ ОЦІНКИ БАЗОВОГО МЕТАБОЛІЗМУ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

*Сизов І. С., студ. (гр БС-24, ФБМІ КПІ ім. Ігоря Сікорського);  
Корнієнко Г. А., ст. викл. (каф. БМК КПІ ім. Ігоря Сікорського);  
Демчук Г. В., к.т.н., доц. (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

**Анотація.** У статті проведено порівняльний аналіз найбільш розповсюджених математичних моделей розрахунку швидкості основного обміну (BMR). Досліджено точність рівнянь Гарріса-Бенедикта та Міффіна-Сан Жеора в контексті їх інтеграції в сучасні інформаційні системи вибору раціонального харчування. Визначено переваги та обмеження кожної моделі для різних категорій користувачів залежно від їхньої фізичної активності та антропометричних показників.

**Ключові слова:** базовий метаболізм, BMR, рівняння Міффіна-Сан Жеора, рівняння Гарріса-Бенедикта, інформаційна система, енерговитрати.

**Abstract.** The article presents a comparative analysis of the most common mathematical models for calculating basal metabolic rate (BMR). The accuracy of the Harris-Benedict and Mifflin-Saint-Geor equations is investigated in the context of their integration into modern information systems for choosing a balanced diet. The advantages and limitations of each model for different categories of users are determined depending on their physical activity and anthropometric indicators.

**Keywords:** basal metabolism, BMR, Mifflin-Saint-Geor equation, Harris-Benedict equation, information system, energy expenditure.

**Вступ.** Фундаментом будь-якої інтелектуальної системи планування раціону є точне визначення енергетичних потреб організму в стані спокою – базового метаболізму (BMR). Від коректності цього розрахунку залежить точність подальшого моделювання раціону з урахуванням фізичної активності. Незважаючи на появу нових методів, класичні рівняння залишаються основним інструментом через їхню простоту для алгоритмізації, проте їхня точність у цифрових системах потребує окремого аналізу.

## **Аналіз стану питання.**

### **Еволюція та структура математичних моделей BMR**

Рівняння **Гарріса-Бенедикта**, виведене ще у 1919 році, тривалий час вважалося золотим стандартом. Воно базується на статі, вазі, зрості та віці, проте сучасні дослідження вказують на тенденцію до завищення показників у сучасних людей через зміну способу життя.

На противагу йому, рівняння **Міффіна-Сан Жеора**, розроблене у 1990-х роках, вважається більш актуальним для сучасного населення. У логіці інформаційної системи вибір між цими моделями визначає базовий поріг калорійності, від якого система відштовхується при додаванні енерговитрат на тренування.

**Мета роботи** полягала у порівняльному аналізі найбільш розповсюджених математичних моделей розрахунку швидкості основного обміну.

**Методики, матеріали та результати дослідження.**

**Порівняльна характеристика точності алгоритмів у цифрових системах**

При розробці інтелектуальних систем вибору режиму харчування критично важливим є аналіз похибки.

- **Модель Міффліна-Сан Жеора:** Показує вищу точність (відхилення в межах 10%) для осіб із середньою масою тіла та людей з надмірною вагою. Це робить її пріоритетною для систем, орієнтованих на загальний оздоровчий сегмент.

- **Модель Гарріса-Бенедикта:** Часто використовується в системах для професійних спортсменів, де певна похибка в бік профіциту калорій є менш критичною, ніж дефіцит енергії при високих навантаженнях.

Для автоматизованої системи важливо реалізувати перевірку: якщо індекс маси тіла (ІМТ) користувача виходить за межі норми, система повинна автоматично перемикатися на більш точну для даного випадку модель. Для вибору оптимального алгоритму в інформаційній системі необхідно порівняти їхні ключові характеристики.

Таблиця 1

Порівняння моделей Гарріса-Бенедикта та Міффліна-Сан Жеора

Параметр порівняння	Модель Гарріса-Бенедикта (1919)	Модель Міффліна-Сан Жеора (1990)
<b>Цільова аудиторія</b>	Професійні спортсмени, люди з високою м'язовою масою	Звичайні користувачі, люди з надмірною вагою
<b>Точність</b>	Може завищувати потреби на 5-10% у нетренованих осіб	Висока точність (відхилення до 10% у більшості груп)
<b>Врахування складу тіла</b>	Опосередковано через вагу та зріст	Більш точне відображення метаболізму сучасного населення
<b>Обмеження</b>	Не підходить для людей з високим ступенем ожиріння	Менш точна для атлетів з екстремальною масою м'язів
<b>Рекомендація для ІС</b>	Використовувати як альтернативну для атлетичного профілю	Використовувати як основну (Default) модель системи

## **Інтеграція в інтелектуальну систему вибору харчування**

В інформаційній системі процес вибору раціонального режиму харчування має відбуватися за ієрархічним принципом:

1. **Модуль ідентифікації користувача:** Збір антропометричних даних та розрахунок Індексу маси тіла (ІМТ).

2. **Адаптивний вибір моделі:** Якщо  $18.5 < \text{ІМТ} < 30$ , система використовує модель Міффіна-Сан Жеора. Для користувачів із високим рівнем тренуваності (вказаним у профілі) може застосовуватися модель Гарріса-Бенедикта.

3. **Динамічна корекція (PAL):** Отримане значення BMR множиться на коефіцієнт фізичної активності, що отримується в реальному часі з датчиків або ручного введення.

4. **Зворотний зв'язок:** Система аналізує динаміку ваги кожні 7 днів. Якщо при розрахованому калоражі вага не змінюється (при цілі схуднення), система автоматично вносить поправку в базову модель, адаптуючись під метаболізм конкретної людини.

Звісно, для такої теми логічним четвертим розділом буде аналіз того, як ці статичні формули взаємодіють із динамічними даними (наприклад, із гаджетів), оскільки це і робить систему «інтелектуальною».

### **Динамічна корекція статичних моделей даними сенсорів та гаджетів**

Основною проблемою класичних рівнянь (Mifflin-St Jeor та Harris-Benedict) є їхня статичність – вони розраховують енерговитрати на основі показників, які змінюються повільно (вага, вік). В інтелектуальних системах цей недолік нівелюється шляхом поєднання BMR з потоковими даними:

Інтеграція з акселерометрами: Дані про кількість кроків та інтенсивність переміщення дозволяють системі автоматично змінювати коефіцієнт PAL (Physical Activity Level) протягом дня, не очікуючи ручного введення від користувача.

Використання даних ЧСС (частоти серцевих скорочень): Моніторинг пульсу в реальному часі дозволяє ідентифікувати періоди анаеробних навантажень, де стандартні формули можуть суттєво недооцінювати енерговитрати.

Машинне навчання: Система може аналізувати розбіжність між прогнозованою зміною ваги (на основі обраної математичної моделі) та реальною вагою користувача, поступово вносячи індивідуальний поправковий коефіцієнт у базове рівняння.

Така синергія класичної математики та IoT-технологій перетворює статичний розрахунок на динамічну модель керування енергетичним балансом.

**Висновок.** У ході проведеного порівняльного аналізу математичних моделей оцінки базового метаболізму (BMR) було встановлено, що вибір коректного алгоритму розрахунку є критичним фактором для забезпечення точності та ефективності сучасних інтелектуальних систем планування раціону. Дослідження підтвердило, що попри історичну значущість рівняння Гарріса-

Бенедикта, воно має тенденцію до завищення енергетичних потреб сучасного користувача, що може призвести до некоректного формування рекомендацій в умовах обмеженої фізичної активності.

На основі отриманих даних можна зробити наступні ключові висновки:

**1. Пріоритетність моделі Міффіна-Сан Жеора:** Дане рівняння демонструє найвищу прогностичну точність (відхилення в межах 10%) для репрезентативної вибірки сучасного населення, особливо для категорій людей із надмірною масою тіла та типовим рівнем метаболізму. Це робить її оптимальним вибором як базового алгоритму («Default model») для масових інформаційних систем.

**2. Необхідність гібридного підходу:** Встановлено, що жодна з існуючих статичних формул не є універсальною для всіх категорій користувачів. Інтелектуальна система повинна володіти логікою адаптивного перемикавання: використовувати рівняння Гарріса-Бенедикта для осіб з високим індексом м'язової маси та професійних атлетів, а модель Міффіна-Сан Жеора – для загального оздоровчого сегменту.

**3. Динамічна інтеграція з фізичною активністю:** Ефективність системи вибору раціонального харчування залежить не лише від точного BMR, а й від здатності системи в реальному часі накладати на цей показник коефіцієнти активності (PAL), отримані з IoT-пристроїв. Це дозволяє перетворити статичний розрахунок на динамічну модель керування енергетичним балансом.

## Література

1. Інформаційна система вибору раціонального режиму харчування з урахуванням фізичної активності користувача: матеріали конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2025.

2. Mifflin M. D., St Jeor S. T., et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005. Vol. 51. P. 241-247.

3. Frankenfield D., Roth-Yousey L., Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults. *Journal of the American Dietetic Association*. 2005. Vol. 105. P. 775-789.