

# 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 Міффіна-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 Міффіна-Сан Жеора

Параметр порівняння	Модель Гарріса-Бенедикта (1919)	Модель Міффіна-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.