

УДК 621.57

**І.В. Костюк, О.Ю. Кулінченко, С.П. Стасевич**  
 Національний університет „Львівська політехніка”,  
 кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

## **СТРУКТУРА ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛООВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТІЛА ЛЮДИНИ**

© Костюк І.В., Кулінченко О.Ю., Стасевич С.П., 2002

**Запропонована структура об’єктно-орієнтованого середовища для моделювання теплового стану тіла людини.**

**The object-oriented program shell structure for modeling human body heat simulation has been proposed.**

### **1. Вступ**

Загальна та регіональна гіпертермія широко використовується в терапії онкологічних захворювань. Цей метод супроводжується великими рівнями депонованої енергії в тіло пацієнта, що може бути причиною небажаного перегрівання деяких органів і тканин, а також додаткового навантаження на серцево-судинну систему. Прогнозування теплового стану тіла людини під час гіпертермічної процедури за допомогою математичного моделювання дає змогу вибрати оптимальні режими лікування, забезпечувати комфортні умови для пацієнта, використовуючи різноманітні методи охолодження ділянок тіла.

Визначення загальної фізіологічної реакції організму на дію зовнішніх енергетичних впливів побудовою математичної теплової моделі всього тіла є складним завданням. Це пов’язано з такими факторами: складністю функціонування системи терморегуляції організму людини; гетерогенністю і складною геометрією форм окремих сегментів і тканин; великою кількістю вхідних параметрів, частина з яких є залежними і потребує перевизначення на кожному часовому кроці; велике різноманіття можливих варіантів фізичної природи енергетичних впливів, характеристик довкілля та механізмів теплопереносу.

Програмне забезпечення для описання таких складних систем, як тепла модель тіла людини, повинно відповідати певним вимогам, які витікають з поставлених задач і з аналізу аналогічних програмних продуктів. До цих вимог належать:

- Модульна організація – оболонка, реалізована набором незалежних модулів.
- Об’єктна орієнтація – процеси і об’єкти моделювання описуються класами.
- Взаємодія з базою даних (БД) – дані, проміжні і остаточні результати передаються з підпрограми в БД і навпаки.
- Формування бібліотек параметрів об’єктів з інтеграцією в БД.
- Гнучкість реалізації – можливість введення нових функціональних модулів і вилучення наявних при необхідності, не вносячи змін в головну програму.
- Графічний віконний інтерфейс з можливостями візуалізації всіх кроків моделювання.
- Довідкова система.

## 2. Теплова модель

Тіло людини розбивається на окремі циліндричні сегменти (всіх 17), кожен з яких містить чотири концентричні тканинні елементи і два кров'яні (артеріальний і венозний). Рівняння енергетичного балансу для кожного тканинного елемента є диференціальні рівняння першого порядку, права частина яких містить складові, які описують внутрішні джерела тепловиділення (метаболізм, штучно депонована енергія) та теплопередачу, завдяки кондукції, конвекції, випромінювання і випаровування, а також теплопередачу між тканинними елементами і кров'ю, що циркулює у магістральних судинах. Енергетичний баланс в кров'яних елементах подається аналогічними диференціальними рівняннями, праві частини яких описують змішування кров'яних потоків в тканинних елементах. Отже, загальна математична модель теплового балансу тіла містить 102 диференціальні рівняння (68 - для тканинних і 34 - для кров'яних елементів), розв'язання яких здійснюється методом кінцевих різниць і цей процес реалізується в обчислювальному ядрі.

Вхідними даними на моделювання є геометричні, теплофізичні, анатомічні та фізіологічні характеристики тіла людини, характеристики довкілля, технічні характеристики обладнання, яке використовується для створення теплового відгуку у тілі людини, а також енергетично-часові характеристики зовнішніх впливів.

## 3. Архітектура програмної оболонки

Відповідно до запропонованої теплової моделі тіла людини формується засобами об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) клас **BodyHeatModel** (*BHM.cls*) – для представлення даних про тіло людини і їх обробки у одному відокремленому модулі класу. Клас **BodyHeatModel** інкапсулює такі функції моделювання (рис. 1):

- Отримання даних про усередненого пацієнта з бази даних і передача їх в модуль взаємодії з інтерфейсом (InterfaceBas). InterfaceBas передає отримані дані в частини підпрограми, де ініціалізуються поля даних для усередненого розрахунку.

- Отримання загальних даних про пацієнта (ім'я, прізвище, зріст, маса і т.д.) і передає їх у модуль взаємодії з базами даних (DBBas). DBBas заносить в таблицю обліку пацієнтів отримані дані, що дозволяє при потребі здійснити пошук, вибір окремих пацієнтів з БД.

- Створення персональної таблиці для моделювання (PersonalTable) – назва генерується залежно від часу проведення моделювання.

- Занесення вхідних даних про параметри сегментів і тканинних елементів, що введені користувачем у персональну таблицю моделювання БД.

- Обробка вхідних даних – отримання основних даних на моделювання (площа поверхні сегментів, об'єм тощо) і занесення результатів в БД.

Клас Environment призначений для представлення складових енергетичного балансу тіла людини (рис. 2). Він описує всі найважливіші механізми теплопереносу і теплоутворення, в тому числі під впливом штучно створених факторів (примусове нагрівання, або (і) охолодження).

Клас будується на основі службових модулів, кожен з яких описує певний фізичний механізм енергетичної взаємодії складових елементів об'єкта моделювання між собою і довкіллям. До класу Environment належать такі службові модулі:

- конвективний теплообмін на поверхні тіла (modQconv);
- кондуктивна теплопередача між тканинними елементами (modQcond);
- втрати енергії при випаровуванні (modQvapor);

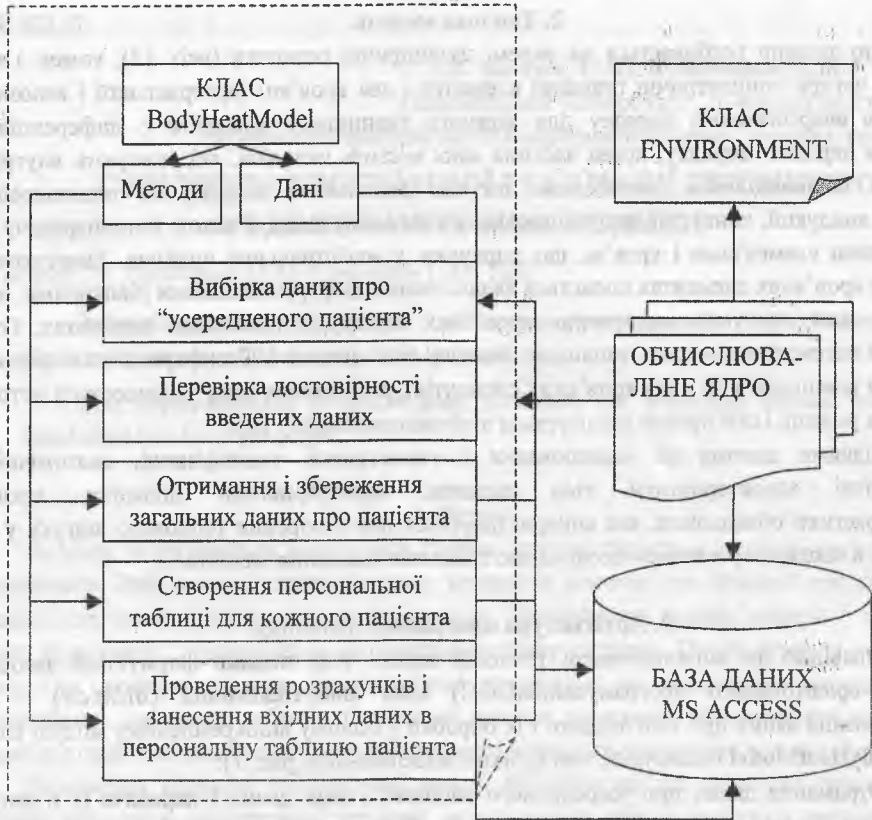


Рис. 1. Організація класу BodyHeatModel

- метаболічна теплопродукція (modQmet);
- теплообмін між тканинними елементами і кров'ю (modQblut)
- теплообмін між легеньми і кров'ю (modQlung)
- тепловтрати при примусовому охолодженні теплоносіями (modQspray)
- штучно депонована в сегмент енергія (modQdep).

Основний модуль класу **Environment (Environment.cls)** виконує такі функції:

- аналізує отримані дані з службових модулів;
- взаємодіє з класом тіла людини (BHM.cls) через обчислювальне ядро програми;
- взаємодіє з базою даних;
- взаємодія з модулем InterfaceBas.

Обчислювальне ядро програми інкапсулює в собі такі функції:

- моделювання процесу в часі (розв'язання диференціальних рівнянь методом кінцевих різниць). Результатом є отримання температурного розподілу у часі (modProcess);
- взаємодіє між системою „об'єкт моделювання” (BHM.cls) і системою “зовнішніх впливів” (modMain);
- аналіз моделювання гіпертермічної процедури (modAnaliz і modVisualisat).

Фізичні параметри середовища і об'єкта моделювання, проміжні і остаточні результати моделювання зберігаються у вигляді таблиць в базі даних MS Access (рис. 3).

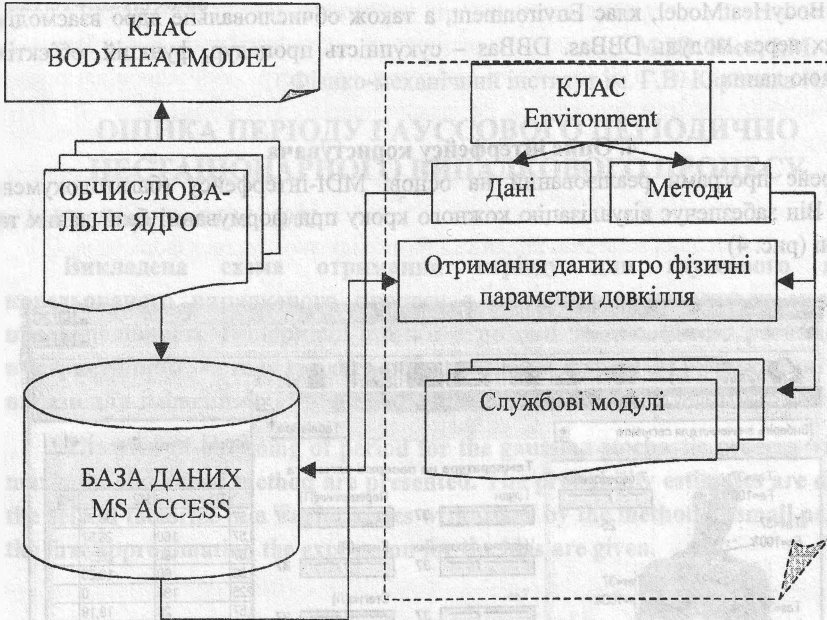


Рис. 2. Організація класу Environment і його взаємодія у системі

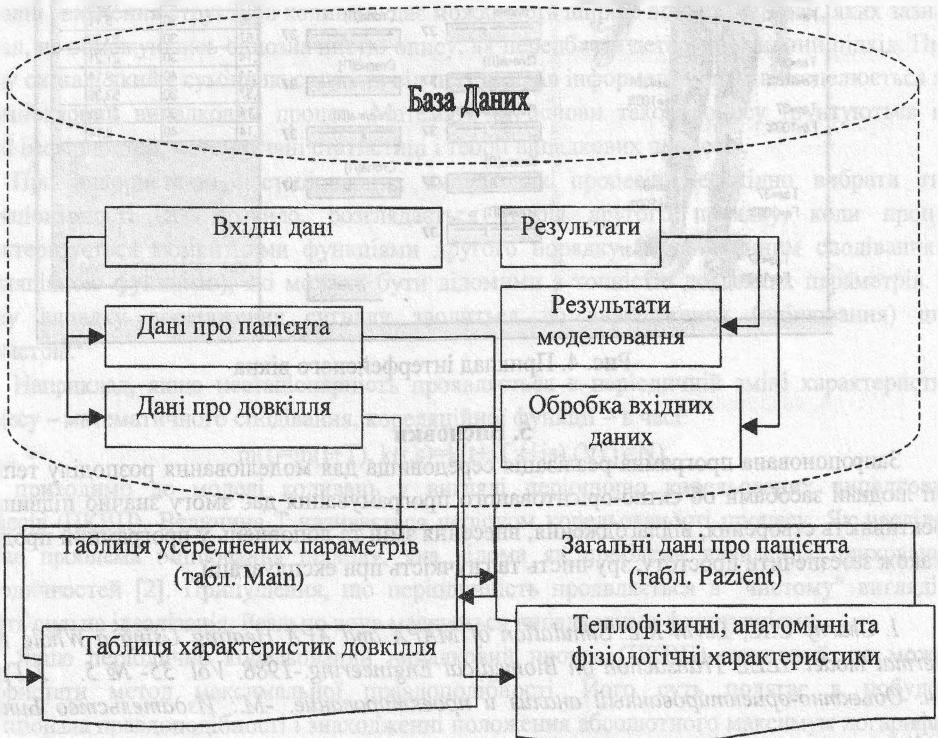


Рис. 3. Структура бази даних

Клас BodyHeatModel, клас Environment, а також обчислювальне ядро взаємодіють з базою даних через модуль DBBas. DBBas – сукупність процедур, функцій, об'єктів для роботи з базою даних.

#### 4. Опис інтерфейсу користувача

Інтерфейс програми реалізований на основі MDI-інтерфейсу (багато документовий інтерфейс). Він забезпечує візуалізацію кожного кроку при формуванні бази даних та при моделюванні (рис. 4)

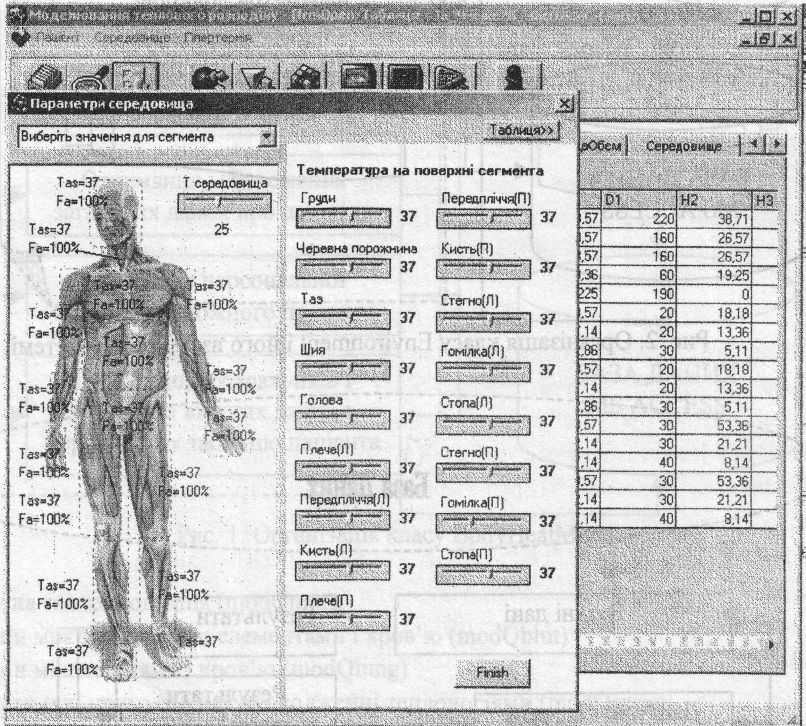


Рис. 4. Приклад інтерфейсного вікна

#### 5. Висновки

Запропонована програмна реалізація середовища для моделювання розподілу тепла в тілі людини засобами об'єктно-орієнтованого програмування дає змогу значно підвищити ефективність створення, відлагодження, внесення змін та доповнень у програмний продукт, а також забезпечити простоту, зручність та гнучкість при експлуатації.

1. Charny C.K., Levin R.L. Simulation of MAPA and APA Heating Using a Whole Body Thermal Model. IEEE Transaction on Biomedical Engineering.-1988. Vol. 35- № 5. 2. Граду Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. -М.: Издательство Бином,-2001.