

# СИСТЕМИ ТА АЛГОРИТМИ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 621.3.049.77

Є. Левус\*, Д. Федасюк

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра САІР, кафедра ПЗ\*

## АРХІТЕКТУРА ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТАФС

© Левус Є., Федасюк Д., 2002

Розглянуто призначення та можливості системи ТАФС, яка дозволяє аналізувати стаціонарні та нестаціонарні температурні поля МЕП з кристалами, установленими на жорсткі виводи.

**Possibilities and usage of TAFC system that allows performing analysis of stationary and non-stationary thermal fields of MED with crystals based hard outputs are shown in this article.** 1. Вступ

Одним із важливих етапів теплового проектування мікроелектронних пристроїв (МЕП) є аналіз температурних полів, які виникають при функціонуванні пристрою. Оскільки забезпечення необхідних теплових режимів МЕП здійснюється через неодноразове розв’язання задачі аналізу, то саме точність та швидкодія методу аналізу значною мірою визначають характер наступних етапів прийняття рішення теплового проектування.

Розроблена нова версія системи моделювання температурних полів ТАФС-2 (Thermal Analysis of Flip Chip) призначена, на відміну від попередньої версії, як для аналізу стаціонарних, так і нестаціонарних температурних полів МЕП з кристалами на жорстких виводах. Істотною відмінністю є також зручний діалог користувача через інтерфейс препроцесора та постпроцесора.

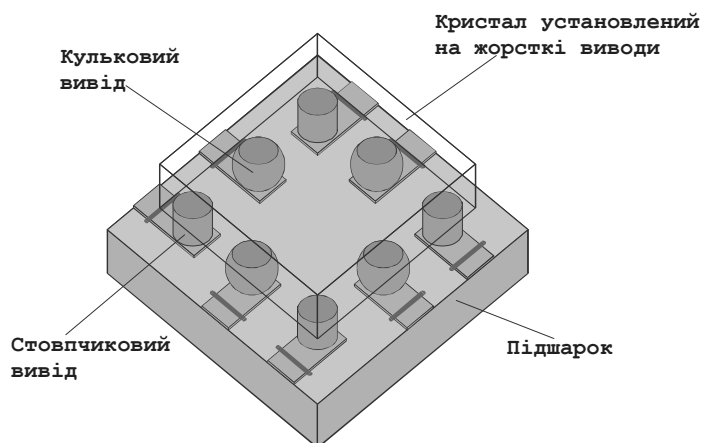


Рис. 1. Конструкція МЕП з кристалом, установленим на жорсткі виводи

Технологія встановлення кристала МЕР на жорсткі виводи (англ. Flip Chip) поширена в багатокристальних модулях, характеризуються високим ступенем автоматизації монтажних робіт та забезпеченням великої густини компанування. Схему типової структури МЕР з кристалом на жорстких виводах подано на рис. 1.

Обчислювальна модель системи ґрунтується на розв'язуванні тривимірної крайової задачі теплопровідності чисельно-аналітичним методом для конструкцій МЕР з кристалом на жорстких виводах. Побудова математичної моделі, її реалізація та результати детально описані в [1,2]. Характерними ознаками розробленого математичного забезпечення є ресурсоекономічність в програмній реалізації та універсальність для даного класу конструкцій, тобто можливість розвитку врахування різних умов та способів тепловідведення. Складність розробленого методу аналізу визначається методом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, розмірність якої залежить від кількості виводів в конструкції МЕР та має квадратичний характер.

## 2. Компоненти системи

Однією з переваг розробленої системи ТАFC є відсутність особливих вимог до машинних ресурсів та системного програмного забезпечення. Вона функціонує в середовищі операційної системи сімейства Windows, потребує 800 Кб вільного дискового простору.

Практика розробки програмних систем підтвердила доцільність поділу архітектури системи на препроцесорну, процесорну, постпроцесорну складові та базу даних [3]. Всі ці модулі є окремими програмно завершеними частинами з чітким функціональним призначенням. При роботі системи між всіма модулями встановлюються необхідні зв'язки, які реалізуються засобами лінгвістичного та інформаційного забезпечень (рис. 2).

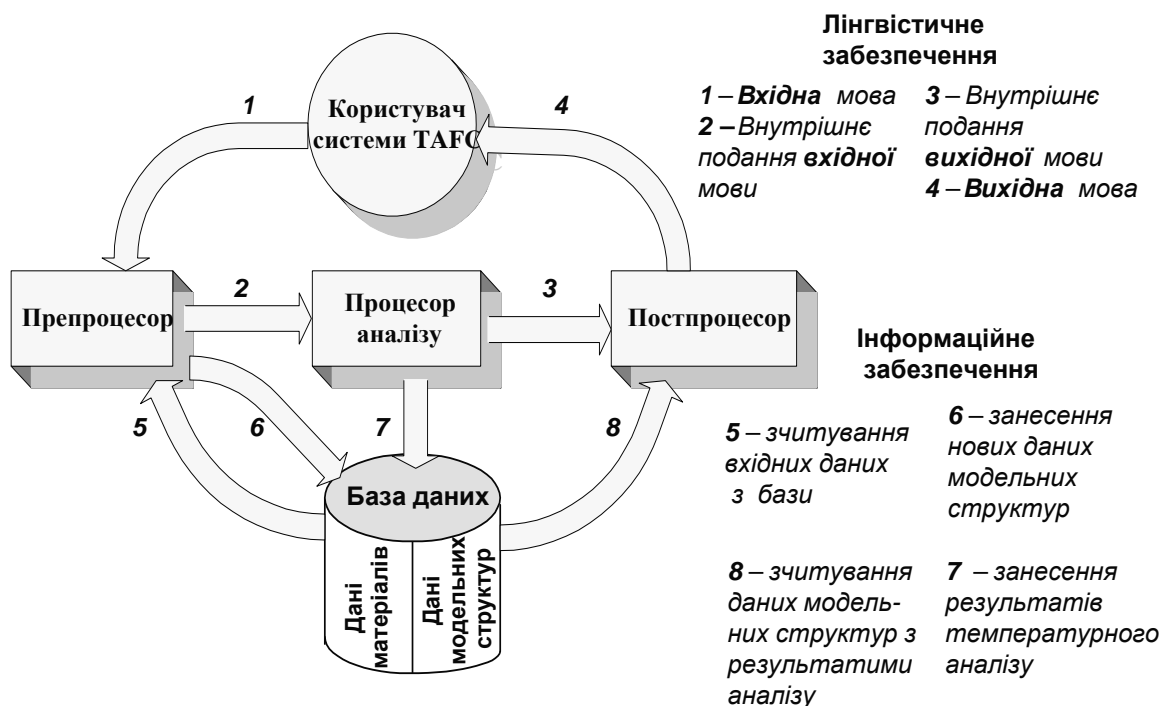


Рис. 2. Архітектура системи температурного аналізу

Поділ архітектури програмної системи на такі складові дає можливість розробнику, зосереджуючись на побудові окремої частини системи, вибирати відповідний інструментарій для її програмної реалізації. Очевидно, що розробка процесорної частини, в основі якої лежать обчислювальні алгоритми, є дещо відмінною задачею від створення зручного зв'язку процесорної частини з користувачем (препроцесор та постпроцесор). Тому і засоби для програмної реалізації окремих складових можуть бути вибрані різні. Для розробки процесорної частини було вибрано мову програмування Сі, яка підтвердила свою високу здатність для написання як великих обчислювальних програм, так і програм обробки текстів. Реалізація обчислювального алгоритму на мові Сі в стандарті ANSI дала можливість використання процесорної частини в Internet-орієнтованій системі моделювання температурних полів МЕП з кристалами на жорстких виводах [4]. Розроблене обчислювальне ядро системи може використовуватися в середовищі операційної системи Unix. Для побудови зручних інтерфейсів та бази даних використовувалося середовище візуального програмування Delphi.

Призначенням препроцесора є формування завдань на моделювання, яке полягає у введенні користувачем даних, що описують теплофізичні та конструктивно-топологічні характеристики конструкції МЕП та даних, що задають точки обчислень. Типова конструкція МЕП з кристалом на жорстких виводах складається з кристала, підшарка, джерел та виводів. Інтерфейс препроцесора організований так, щоби забезпечити послідовний опис кожного з базових компонентів конструкції (рис. 3).

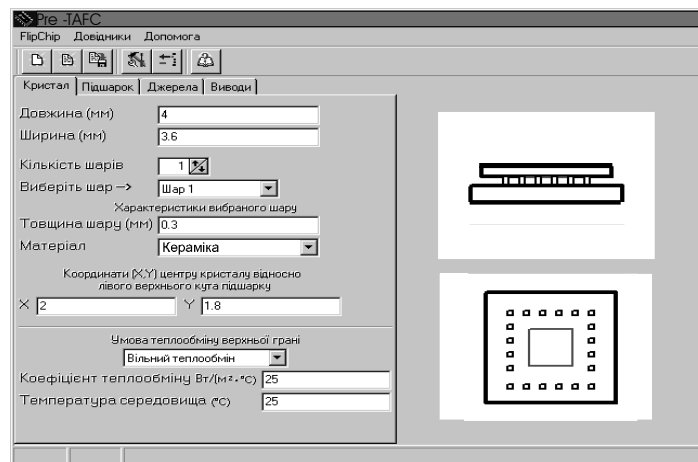


Рис. 3. Опис конструкції засобами препроцесора

Крім опису нових модельних структур є можливість використання вже готових структур з бібліотеки конструкцій. При роботі з препроцесором функціонує зручна система підказок для користувача.

Одним з важливих завдань препроцесора є контроль вхідних даних та захист від помилок користувача. В системі TAFC реалізовано 2 способи контролю вхідних даних і виявлення помилок в них.

Перший спосіб передбачає захист від помилок користувача через систему перевірок умов, накладених на вхідні дані. Тобто в роботі уникають некоректних ситуацій, які фактично задають неіснуючі конструкції. А саме: 1) розміри кристала мають бути сумісні з розмірами підшарка, тобто це означає, що кристал кріпиться саме до підшарка за допомогою

жорстких виводів; 2) виводи розміщені коректно один відносно іншого поза межами джерел тепла, тобто поперечні перерізи кожного з них не перекриваються і не мають спільних точок з джерелами тепла; 3) джерела тепла розміщені коректно одне відносно іншого на поверхні кристала, тобто не перекриваються їх поверхні і не існує областей джерел поза межами активної ділянки кристала. Отже, при виявленні помилкової ситуації при заданні модельної структури видається повідомлення про некоректність вхідних даних. Лише при їх виправленні буде здійснений запуск процесора температурного аналізу.

Другий спосіб контролю реалізується засобами графічного редактора препроцесора, з допомогою якого праворуч від ввідної області зображається модельна структура у двох найінформативніших проекціях (рис. 3). Тобто, користувач може оцінити структуру модельної конструкції, яка описана вхідними даними, введеними ним безпосередньо через інтерфейс препроцесора. В разі виявлення помилки користувач виправляє дані і після цього процесор виконує завдання температурного аналізу.

Після коректного завершення роботи препроцесора в завдання температурного аналізу виконує процесор, який є фактично обчислювальним ядром системи. На цьому етапі користувач вже не може впливати на виконання температурного аналізу.

Процесор виконує завдання температурного аналізу, сформовані препроцесором або зчитані з бази вже описаних раніше структур. В ході виконання завдання температурного аналізу видаються проміжні повідомлення, які означають завершення одного з етапів обчислювального процесу, а саме - обчислення потужностей тепловідведення через виводи та обчислення значень температури. Користувач в кожен момент часу може також дізнатись про стан виконання завдання температурного аналізу у відсотках від сумарного об'єму обчислень потужностей та температурних розподілів структури. Після виконання завдання аналізу проміжні та кінцеві результати моделювання при необхідності вносяться в базу даних. Проміжними результатами є матриця для визначення потужностей тепловиділення через виводи та знайдені значення потужностей. Кінцевим результатом роботи процесора є значення коефіцієнтів ряду Фур'є та значення температури в точках, які задав користувач засобами препроцесора.

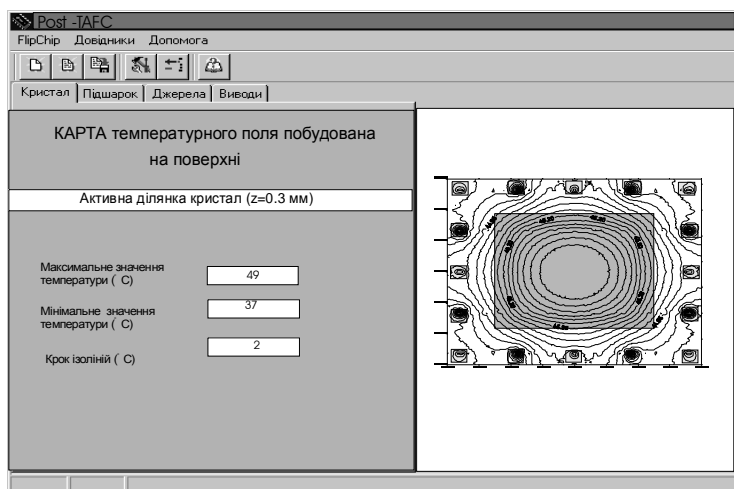


Рис. 4. Зображення модельної структури та результатів моделювання засобами постпроцесора

До функцій постпроцесора належить обробка результатів моделювання, виконаного процесором, і подання їх користувачеві в інформативному та наочному виглядах. Постпроцесор дозволяє переглядати результати разом з графічним зображенням МЕП з кристалом на жорстких виводах. У такому випадку графічне зображення результатів моделювання у вигляді карти для будь-яких поверхонь структури, утворених перерізом по одній з координатних площин об'єкта ( $XOY$ ,  $XOZ$ ,  $YOZ$ ), накладається на зображення об'єкта моделювання (рис. 4.).

Крім того, є можливість швидкого перегляду результатів: максимальне значення температурного поля; значення температури в центрах тепловиділяючих елементів та в окремих точках, координати яких задає користувач. Для аналізу перехідних процесів відображається залежність температури від часу для заданої точки структури у вигляді лінії графіка.

При розробці програмних систем актуальним і достатньо складним є питання збереження та використання інформації незалежно від розв'язування самої задачі.

У базі даних системи ТАFC зберігаються всі дані, що застосовуються в процесі теплового моделювання, використання яких відповідає таким вимогам:

- дані потрібні більш, ніж в одній задачі;
- одна і та сама інформація потрібна для відповідей на різні питання.

Розроблена база даних системи ТАFC забезпечує:

- збереження даних, що описують модельні структури з результатами їх температурного аналізу для багаторазового використання при відображенні результатів у різному вигляді на запити користувача;
- збереження даних, що описують типові структури, для повторного аналізу модельних конструкцій з можливістю зміни деяких даних;
- збереження значень теплофізичних коефіцієнтів матеріалів, які використовуються при аналізі різноманітних конструкцій МЕП.

### 3. Організація зв'язків між компонентами

Останнім часом все більша увага приділяється розробці взаємодії користувачів зі САПР на природній професійній мові. У такому випадку передбачається занесення вхідних даних через зрозумілий інтерфейс в діалоговому режимі. Слід зауважити, що серед сучасних систем теплового проектування і надалі використовується метод задання конструкції в файлі формату, який логічно і зрозуміло для спеціаліста з даної області описує всі необхідні характеристики теплової моделі [5,6]. Це пояснюється простотою такого рішення, оскільки часто на перший погляд дружній інтерфейс перевантажує та сповільнює сприйняття користувача системи моделювання.

Розроблена система температурного аналізу МЕП з кристалами на жорстких виводах не відкидає жодного з варіантів взаємодії користувача із системою. Є можливість введення вхідних даних через інтерфейс препроцесора або через файл, формат якого прийнятий був раніше в системі теплового проектування МОНСТР (розробка кафедри САПР НУ "Львівська політехніка") [7]. Створення чи редагування користувачем файлу завдання температурного аналізу здійснюється через інтерфейс препроцесора.

Лінгвістичне забезпечення розробленої системи (рис. 2) охоплює реалізацію зв'язків між користувачем та процесорною частиною системи через інтерфейс препроцесора та постпроцесора та відповідає необхідним вимогам наглядності, простоті та зручності у використанні для користувачів різних рівнів підготовки.

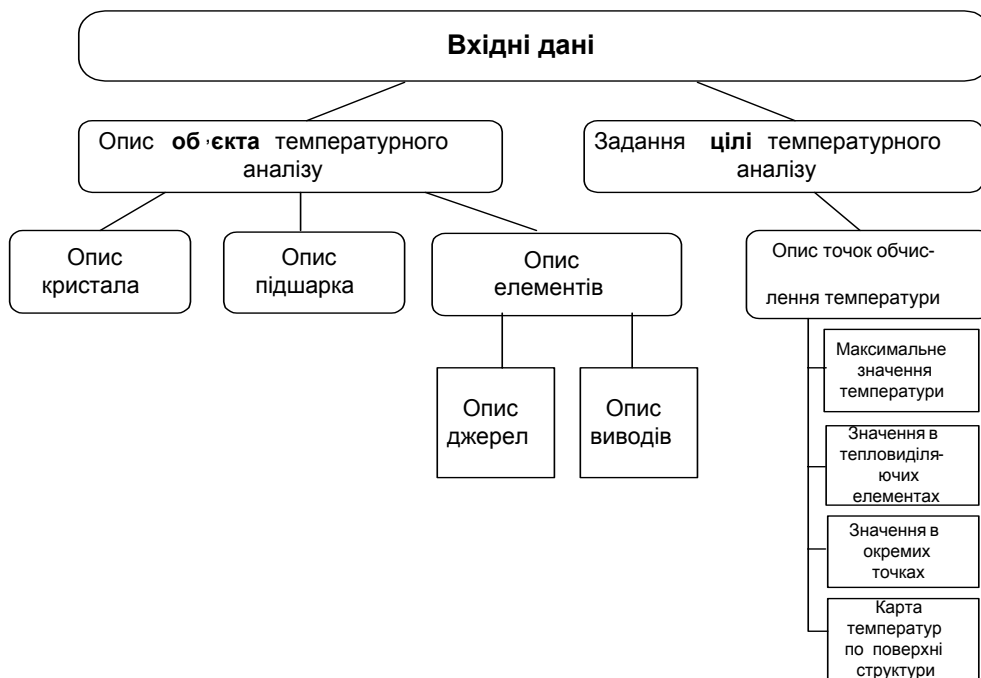


Рис. 5. Вхідні дані системи TAFS

Вхідна мова призначена для задання інформації про об'єкт та ціль аналізу. Множину всіх вхідних даних системи TAFS можна поділити на 2 групи: характеристики опису конструкції (рис. 5) та інформація для відображення результатів моделювання. Перша група описує об'єкт аналізу, а друга – задає його ціль.

Внутрішня вхідна мова відображає у форматі текстового файлу сформоване завдання для процесора і тим реалізує безпосередній зв'язок користувача з процесором через інтерфейс препроцесора.

Для вхідної мови реалізована можливість введення даних геометрії структури в кратних та цілих одиницях прийнятої міжнародної системи вимірювань (мікрометр, міліметр, сантиметр, дюйм).

Серед характеристик конструкції особливий інтерес представляє опис множини жорстких виводів, теплофізичні та конструктивні характеристики яких значною мірою визначають процес тепловідводу з кристала в підшарок. Оскільки автори ставили перед собою ціль врахувати якнайповніше характеристики жорстких виводів, то розроблена система TAFS надає широкі можливості для різноманітного задання вхідних даних жорстких виводів. У відомих системах теплового моделювання МЕР реалізований спрощений варіант задання множини жорстких виводів суцільним блоком або варіант конкретної конструкції, коли розміщення виводів наперед обумовлене [8, 9]. Такі варіанти обмежують клас досліджуваних об'єктів. В системі TAFS, крім того, передбачається моделювання температурних полів для конструкцій МЕР, теплова модель яких може бути подана у вигляді багатшарового паралелепіпеда з поверхневими джерелами тепла. Отже, запропонована модель вхідних даних для МЕР з кристалами на жорстких виводах, яка реалізована в системі TAFS, дає можливість здійснювати температурний аналіз для широкого класу МЕР з жорсткими виводами та МЕР простішої структури.

Для внесення інформації про жорсткі виводи є можливість задання сітки жорстких виводів автоматичним способом або задання довільного розміщення виводів (рис. 6).

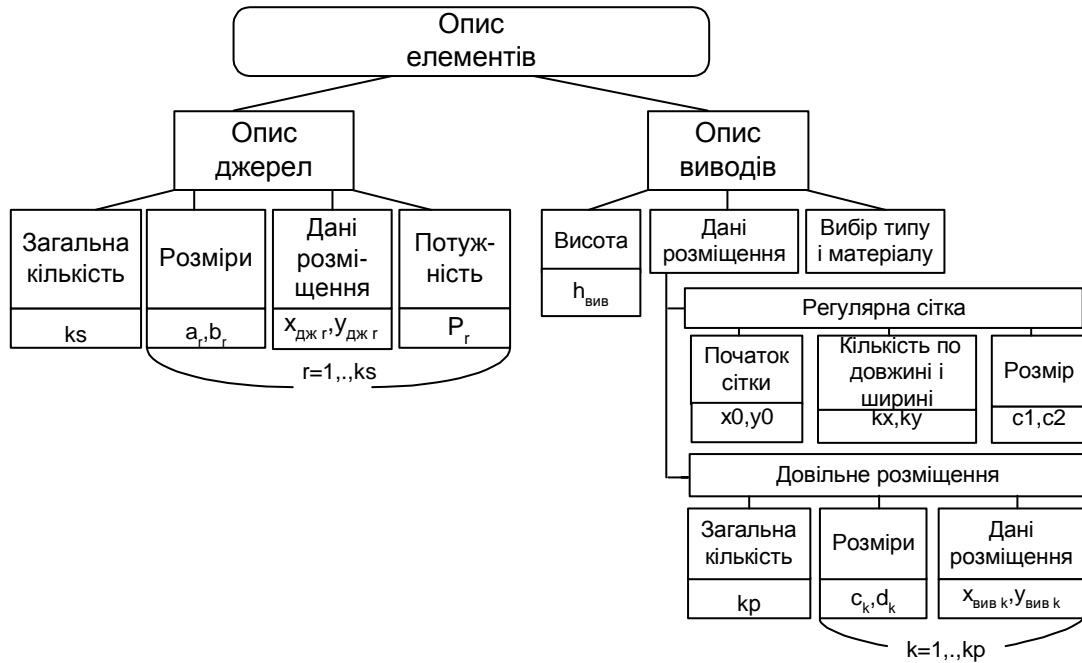


Рис. 6. Схема даних для опису елементів

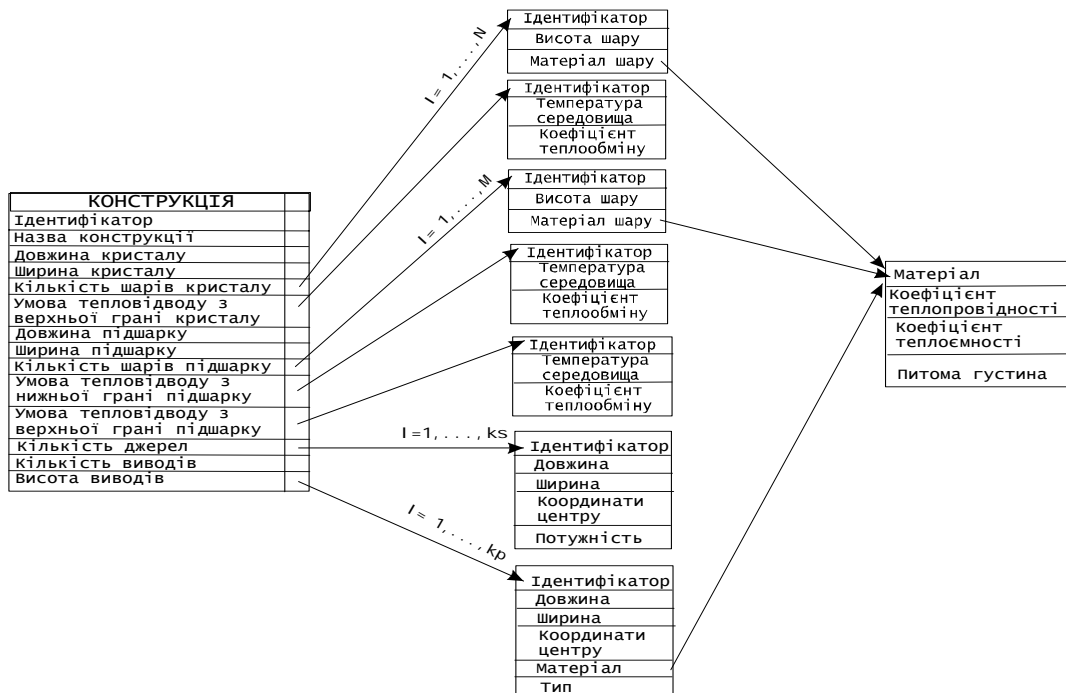


Рис. 7. Інформаційна модель об'єкта температурного аналізу

У випадку автоматичного опису масиву виводів задаються координати кутового вивода (початок сітки), кількість виводів по довжині та ширині структури кристалу і розмір вивода, який є однаковий для всіх виводів. В іншому випадку, коли виникає необхідність в неавтоматичному заданні даних, потрібно вводити дані для кожного виводу окремо. Крім даних розміщення виводів, потрібно ввести для кожного інформацію про тип та матеріал виготовлення. Це реалізується системою міток або вибором певної множини виводів згідно з їх нумерацією.

Вихідна мова, якою користувачеві наводяться результати аналізу, відповідає необхідним вимогам деталізації та наочності. В системі ТАFC вихідна мова залежно від вимоги користувача, може відображати графічно температурні карти або чисельно значення температури в точках конструкції через інтерфейс постпроцесора. Внутрішнім поданням вихідних даних системи ТАFC є числові значення коефіцієнтів ряду Фур'є та температури в точках структури, записані у текстовому файлі. Оскільки вихідними даними роботи системи ТАFC є значення коефіцієнтів ряду Фур'є, у формі яких шукається функція температури області конструкції, то аналітична залежність між координатами будь-якої точки структури і значенням температури в ній забезпечує можливість інформативно та швидко подати результати в потрібній формі у будь-якій точці конструкції незалежно від інших обчислень.

Зв'язки з інформаційним забезпеченням в системі ініціюються за вимогою користувача при використанні чи збереженні модельних структур та незалежно від користувача при заданні матеріалу базових компонентів конструкції, коли визначаються його теплофізичні коефіцієнти. Однією з основних компонентів інформаційного забезпечення є інформаційна модель об'єкта аналізу, яка забезпечує збереження даних, що описують конструкцію МЕР, незалежно від цілей аналізу. Інформація про створені конструкції та результати моделювання подається у вигляді кількох зв'язаних між собою таблиць за унікальним ідентифікатором конструкції (рис. 7).

## Висновки

Розроблена авторами нова версія системи теплового моделювання МЕР з кристалами на жорстких выводах (ТАFC-2) може використовуватись у практичних задачах теплового проектування МЕР з кристалами на жорстких выводах та багатошарових МЕР простішої структури. Вона дозволяє:

- зручними та наочними засобами препроцесора описувати теплофізичні та конструктивно-топологічні характеристики конструкції МЕР;
- швидко та точно проводити аналіз температурних полів;
- відображати результати аналізу засобами постпроцесора у вигляді графіків, таблиць, температурних карт.

1. Федасюк Д.В., Левус Є.В. Моделювання та дослідження теплових режимів МЕР з встановленими кристалами ІС на жорсткі выводы // Вісн. Державного університету "Львівська політехніка" – 1998. – №327. – С. 138 – 148. 2. Левус Є. В., Федасюк Д. В. Аналіз нестационарних процесів теплообміну в МЕР з кристалом на жорстких выводах/ Вісн. Національного університету "Львівська політехніка – 2001. №398.– С.143 – 149. 3. Федасюк Д. В., Петров Д. В., Левус Є. В. Аналіз сучасних систем теплового моделювання МЕР / Вісн. Державного університету "Львівська політехніка. – 1999. – №387.– С.398 – 403. 4. Петров Д.В., Федасюк Д.В., Левус Є. В. Тепловий аналіз МЕР із кристалами на жорстких выводах у середовищі Internet/ Вісн. Національного університету "Львівська політехніка". – 2001. – №415. – С. 164 – 171. 5. Інформація з Internet: [www.aplack.com](http://www.aplack.com) . 6. Інформація з Internet: [www.TAK2000.com](http://www.TAK2000.com). 7. Коваль В.А., Федасюк Д.В., Фармага І.В. Моделирование нестационарных тепловых режимов (МОНСТР) микроселектронных устройств численно -аналитическим методом // Информатика, сер. Автоматизация проектирования. – М., – 1994. – Вып.2 – 3.– С.49 – 60. 8. Інформація з Internet: [www.florack.com](http://www.florack.com). 9. Інформація з Internet: [www.icepak.com](http://www.icepak.com).