



## СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНИЙ ЗАСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Анатолій Горбатюк, Сергій Горбатюк

Технологічний інститут СНУ імені В. Даля,  
пр. Радянський, 59-а, м. Северодонецьк, Луганської обл., 93400, Україна  
e-mail: a.f.gorbatyuk@gmail.com, gsa220@gmail.com

**Резюме:** робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – розробки моделей і методів структурно-алгоритмічної організації паралельних обчислювальних процесів задля підвищення ефективності роботи комп'ютерних систем. Представлено метод алгоструктурного проектування обчислювальних моделей, який реалізує автоматизовану розробку моделей шляхом застосування бібліотечних алгоструктур і встановлення зв'язків між ними. Показані особливості розпаралелення обчислень в алгоструктурах, що враховує структурно-алгоритмічну організацію моделі, передбачає оптимізацію обчислень і дозволяє зменшити час обчислень та найкращим чином використовувати наявні ресурси. Розглянуто механізм структурної реорганізації в проблемно-орієнтованих алгоструктурних конструкціях. Розробку моделей обчислювальних процесів виконано з використанням технології автоматизованого проектування.

**Ключові слова:** алгоструктурні обчислювальні моделі, структурно-алгоритмічне проектування.

### ВСТУП

Розробка математичних моделей є одним із важливих етапів при проектуванні та дослідженні різних систем. Традиційні методи, які пов'язані з використанням комп'ютерів, мов програмування високого рівня та бібліотек спеціалізованих програм і засобів, в певній мірі вирішують зазначене. На жаль методи, що мають значну людську участь – автоматизувати складно. У зв'язку із значним прогресом у галузях розробки апаратних і програмних засобів з'явилась можливість більш ефективно реалізувати вказане. Таку нагоду надають структури, що реконфігуруються [1].

Вони дозволяють автоматизувати процес складання моделей і апаратно розпаралелити обчислення. Але структури, що реконфігуруються, вимагають організації обчислювального процесу, який потрібно динамічно переналагоджувати з метою найкращого використання їх можливостей. Це створює певні труднощі при проектуванні моделей складних систем з використанням структур, що реконфігуруються. Актуальність роботи визначається тим, що представлено новий підхід, який дозволяє ефективно проектувати моделі обчислювальних процесів та автоматично виконувати структурно-алгоритмічне перетво-

рення: алгоритм → структурно-алгоритмічна модель обчислювального процесу з потрібним розпаралеленням обчислень.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Постановкою завдання досліджень, які представлені в роботі, є усунення частки названих проблем, оскільки їх вирішення дотепер не завершено. У роботі представлено структурно-алгоритмічне автоматизоване проектування обчислювальних моделей на підставі алгоструктурної технології. Згідно стандарту МЕК1131-3 під алгоструктурною технологією розуміється метод подання моделей обчислювальних процесів сукупністю проблемно-орієнтованих компонентів (названих алгоструктурами) і зв'язків між ними [2]. Алгоструктури – це моделі з програмованою логікою, комутацією і структурою, які прийнятні для застосування у структурах, що реконфігуруються. Розробка обчислювальних моделей за їх допомогою складається з вибору необхідних алгоструктур (а у випадку їхньої відсутності – розробки), встановлення необхідних зв'язків та відповідних налагоджувань.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Під алгоструктурним проектуванням обчислювальних моделей розуміється процес складання моделей і компонент обчислювального процесу з алгоструктур, тобто  $AS = \{a_j, A_i\}$ , де  $AS$  – алгоструктура, що проектується, та є алгопроектом;  $a_j$  – алгоелементи (найпростіші алгоструктури) з базової бібліотеки;  $A_i$  – алгоблоки (алгоструктури, які отримані з алгоелементів), які можуть бути залучені до складу бібліотек користувача;  $i, j$  – індекси. Доцільно реалізовувати обчислювальні моделі, як деякі структури, що отримані з інших структур за рахунок певної комутації.

Проектування алгоструктур складається з породження одних алгоструктур на підставі інших, з базової бібліотеки або спроектованих користувачем (рис. 1).

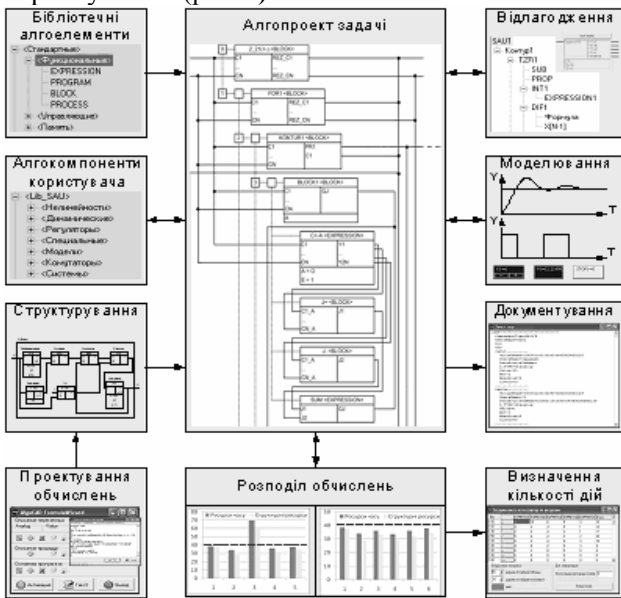


Рис. 1 – Етапи алгоструктурного проектування

В базовій бібліотеці алгоструктур передбачені алгоелементи для структурування алгоритму (BLOCK), обчислювального типу (EXPRESSION) та розгалуження (IF), які забезпечують алгоритмічну універсальність. Певні набори алгоелементів становлять спеціалізовані бібліотеки алгоструктур, тобто  $\{BLOCK, EXPRESSION, IF\} \rightarrow AS$ .

Принципи, які використано в алгоструктурній технології, дозволяють здійснювати структурну реорганізацію проблемно-орієнтованих алгоструктурних конструкцій, що дозволяє з алгоелементів складати алгоструктурні конструкції – як структурні форми подання процедури деякого обчислення:  $ASK = \langle K, AS(F) \rangle$ , де  $K$  – комутація;  $AS = \langle A, S \rangle$  – алгоструктури, що виконують алгоритм  $A$ , який реалізує функцію  $F$  та має структурне подання  $S$ .

Це передбачає: розподіл обчислень в  $F$  та визначення потрібного кількісного і якісного набору  $AS$ , які забезпечують виконання  $A$ ; компоновку  $AS$  в алгопроекті; налагодження  $AS$  в відповідності до  $A$ ; формування за допомогою  $K$  необхідних зв'язків в  $AS$ . Для задачі, що вирішується, алгоструктурна технологія дозволяє скласти алгоструктурні моделі (ASM), як структурні форми подання обчислень, тобто:  $ASM = \langle K, ASK, AS(F) \rangle$ .

Якщо подивитись на структури, що реконфігуруються, як на автомати із програмованою логікою, котрі призначені для використання в якості обчислювальних пристроїв, їх можна представити такою сукупністю:  $\langle X, VS\{K, DL, P\}, Y \rangle$ , де:  $DL$  – сукупність дискретних логічних елементів;  $P$  – сукупність елементів, що програмує функціонування  $VS\{K, DL, P\}$ ;  $K$  – комутація  $DL$ , яка визначає конфігурацію обчислювальної структури  $VS\{K, DL, P\}$ ;  $X, Y$  – входи і виходи. Алгоструктура, що є віртуальною моделлю  $VS\{K, DL, P\}$ , вважається відомою, якщо задані  $\langle X, S\{K, AS(F)\}, Y \rangle$ . “Занурення” алгоструктур у структури, що реконфігуруються, пов'язане з процесом, в якому віртуальні компоненти  $S\{K, AS(F)\}$  будуть замінені відповідними компонентами в реальній структурі  $VS\{K, DL, P\}$ . Обчислювальні алгоритми задаються безлічами:  $\langle X, F, Y \rangle$ ,  $F$  – виконувана функція (ii) над  $X$  з метою одержання  $Y$ .  $F$  може містити операції, які виконуються послідовно, паралельно або паралельно – послідовно. Процес реалізації  $F$  в  $VS\{K, DL, P\}$  є обчислювальним процесом, для якого просторово – часову інтерпретацію всієї безлічі операцій  $f_{ij} \in F$  можна представити у вигляді матриці обчислювальних процесів. Залежно від особливостей задачі, що вирішується, деякі процеси  $f_{ij}, i \in r, j \in m$  можуть бути відсутніми. Тому, організація у структурах, що реконфігуруються, паралельних обчислювальних процесів пов'язана з тим, що потрібно на кожному  $j$ -ому,  $j \in (1, 2, \dots, m)$  обчислювальному етапі, відповідно до  $f_{ij} \in F$ , підібрати такий набір процесів з  $f_{ij}, i \in r, j \in m$ , при якому обчислювальні можливості структур, що реконфігуруються, будуть використані найкраще. Реалізація  $f_{ij}, i \in r, j \in m$  для задачі, що вирішується, з урахуванням обраного структурного базису визначить набір обчислювальних структур, які цілком використовують певні ресурси структур, що реконфігуруються, та обумовлюють певний час обчислень. Таким чином проектування алгоструктур повинно відбуватися на основі оптимізаційних способів, наприклад, наступних.

**Спосіб 1 – розподіл структурних ресурсів.**  
Нехай  $g_i$  – кількість структурних ресурсів, необхідних для реалізації  $i$ -го процесу;  $n_i$  – кількість процесів  $i$ -го типу;  $k$  – припустима кількість всіх процесів на кожному обчислювальному етапі;  $G$  – граничний структурний ресурс (кількість компонентів, яку можна використовувати);  $N$  – гранична кількість процесів  $i$ -го типу. На підставі наявних можливостей доцільно організувати розподіл структурних ресурсів наступним чином:

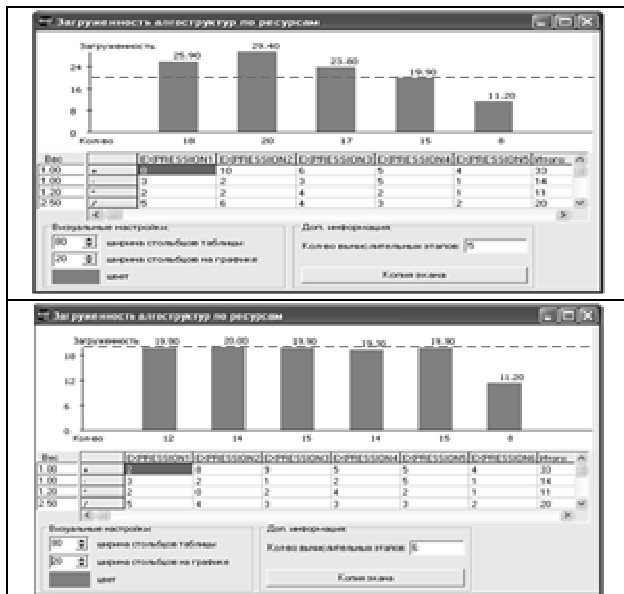
$$\sum_{i=1}^k g_i n_i \rightarrow \max, \sum_{i=1}^k g_i n_i \leq G, n_i \leq N, n_i \geq 0 \quad (1)$$

**Спосіб 2 – розподіл ресурсів часу обчислень.**  
Нехай  $\tau_i$  – тривалість виконання  $i$ -го процесу;  $n_i$  – кількість процесів  $i$ -го типу;  $k$  – припустима кількість всіх процесів на кожному обчислювальному етапі;  $T$  – граничний ресурс часу виконання всіх процесів на обчислювальному етапі;  $N$  – гранична кількість процесів  $i$ -го типу. На підставі наявних можливостей доцільно організувати розподіл ресурсів часу обчислень наступним чином:

$$\sum_{i=1}^k \tau_i n_i \rightarrow \max, \sum_{i=1}^k \tau_i n_i \leq T, n_i \leq N, n_i \geq 0 \quad (2)$$

Приклад розподілу ресурсів у структурах, що реконфігуруються, наведено у табл. 1.

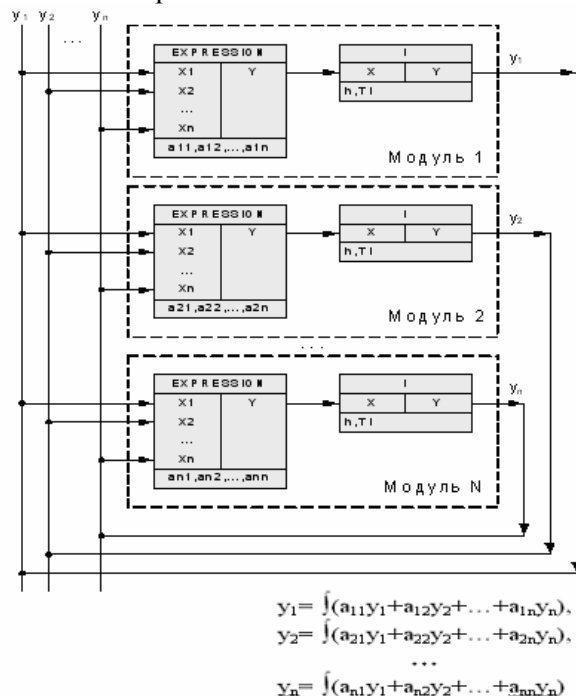
**Таблиця 1. Розподіл ресурсів без урахування обмежень та з урахуванням обмежень**



Перші гістограми в табл.1 вказують на неможливість реалізації обчислювального процесу при обмежених ресурсах. Другі гістограми в табл.1 демонструють перерозподіл обчислень в алгоструктурних моделях, завдяки чому передбачається більш повне використання наданих ресурсів.

Отже, у разі розпаралелення обчислень в алгоструктурах для організації паралельних обчислювальних процесів потрібно буде здійснювати конфігурування з урахуванням особливостей  $S\{K,AS(F)\}$  та  $VS\{K,DL,P\}$ . В результаті кожний обчислювальний етап буде передбачати наступне: аналіз обчислювальних алгоритмів та побудову  $f_{ij} \in F$ ; рішення (1) або (2) й оптимізацію кількості реалізуємих на обчислювальному етапі  $f_{ij}, i \in r, j \in m$ ; генерацію алгоструктур із заданим паралелізмом обчислень. Отримані таким чином алгоструктури будуть мати потрібний обчислювальний паралелізм і забезпечать найкраще використання наданих ресурсів, що підтверджено експериментально. Розглянемо більш детально особливості складання обчислювальних моделей на підставі алгоструктурної технології.

Відомо, що в комп'ютерних системах фактично реалізуються математичні моделі алгоритмів задач. Для ряду задач в моделях використовуються диференційні рівняння. Тому, має сенс з'ясувати особливості алгоструктурних реалізацій зазначених моделей. Аналіз літературних джерел показав, що початкова система диференційних рівнянь може мати різну форму, залежно від методу її побудови. Алгоструктурну модель для диференційних рівнянь, представлених однорідною системою, показано на рис. 2.

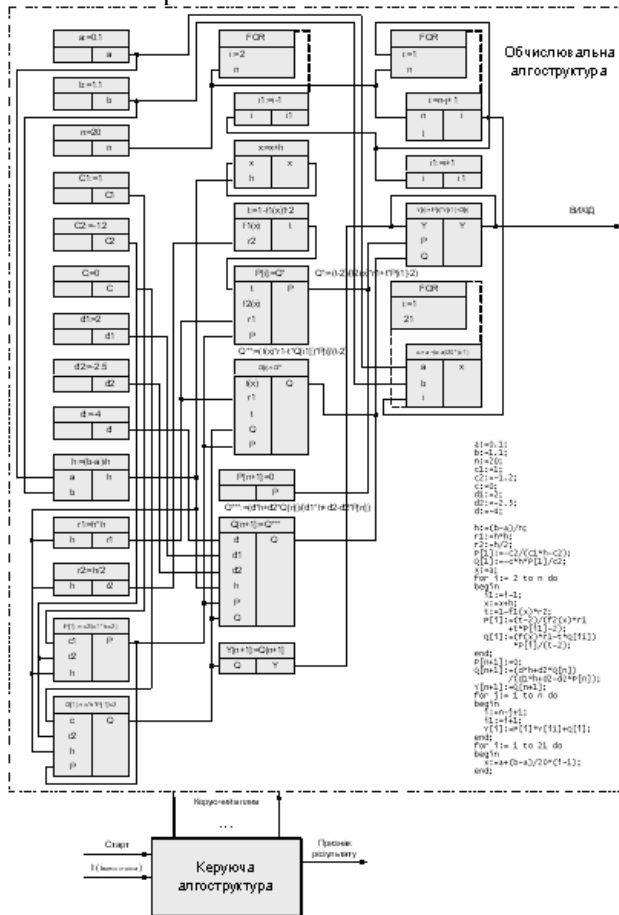


**Рис. 2 – Алгоструктура для звичайних диференційних рівнянь**

Існує ряд задач, котрі є в математичному сенсі крайовими задачами для звичайних диференційних рівнянь [4]. Суть подібних задач

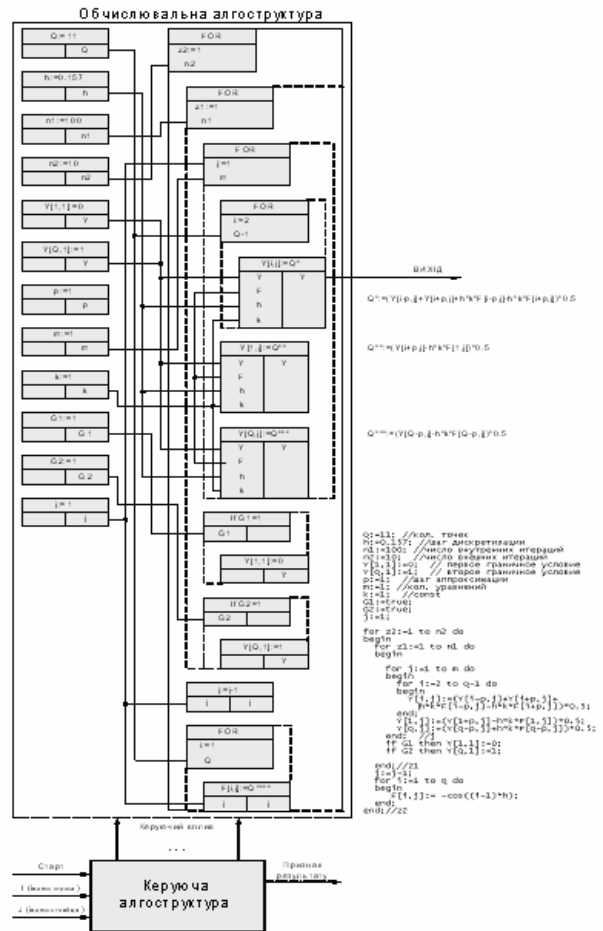
можна інтерпретувати так. На інтервалі потрібно знайти функцію, що задовольняє заданому диференційному рівнянню й крайовим умовам. Алгоструктурну модель для крайової задачі, заданої звичайними диференційними рівняннями, представлено на рис. 3.

Має сенс також зазначити, що крайові задачі ефективно вирішувати на підставі точкових обчислень, які запропонував академік Г.Є.Пухов. При використанні в моделях точкових обчислень для рішення крайових задач потрібно скласти алгоструктуру з відповідних бібліотечних компонент, встановити потрібну комутацію та налагодження, що представлено на рис. 4. Фрагмент алгоструктурного рішення крайової задачі для звичайних диференціальних рівнянь методом прогонки і точкових обчислень показано на рис. 5.

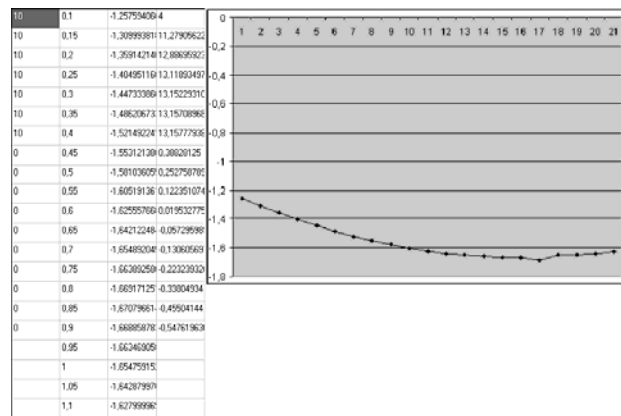


**Рис. 3 – Алгоструктура для крайової задачі методом прогону**

Є багато процесів, керування якими пов'язане з умінням досить швидко й ефективно вирішувати завдання з крайовими умовами, представлених рівняннями в частинних похідних. Не тривіальність цього класу завдань приводить до того, що для них розроблялися і продовжують розроблятися методи рішення та відповідні апаратно-програмні засоби.



**Рис. 4 – Алгоструктура для крайової задачі на підставі точкових обчислень**



**Рис. 5 – Результати для рішення крайової задачі на підставі методів прогону і точкових обчислень**

У зв'язку з перспективою структурної реалізації обчислювального процесу, наприклад, за допомогою структур, які реконфігуруються, з'явилася можливість вирішувати названі завдання за прийнятний термін і безпосередньо використовувати у комп'ютерних системах.

Розглянемо крайове завдання Діріхле для рівняння Лапласа. Згідно з ним потрібно знайти функцію в області з граничними умовами. Фрагмент її рішення представлено на рис. 6. Алгоструктурну модель для рівняння Лапласа показано на рис. 7.



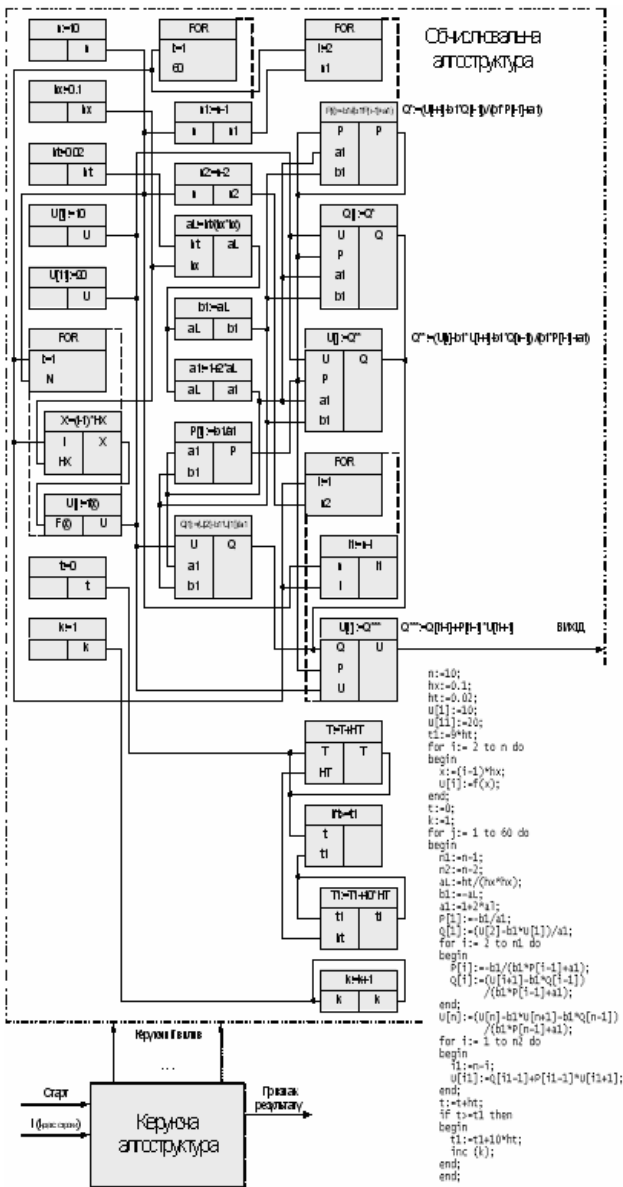


Рис. 10 – Алгоритмічна структура крайової задачі для рівняння теплопровідності

Алгоритми багатьох прикладних задач використовують оптимізаційні процедури. Розглянемо метод координатного спуску [4]. Алгоритмічну модель для оптимізації методом координатного спуску показано на рис. 12.

Дискретне подання та реалізація на комп'ютерах обчислювальних алгоритмів дає дискретну послідовність рішень у вигляді так званої решітчастої функції. Послідовність рішень між її вузлами визначають за допомогою інтерполяції, наприклад, на підставі поліному Лагранжа [4]. Алгоритмічну модель для інтерполяції на підставі полінома Лагранжа показано на рис. 13.

Таким чином, складання розглянутих алгоритмічних моделей пов'язано з використанням відповідних бібліотечних компонент, встановленням потрібних комутацій та налагоджувань.

10	8	6	4	2	0	8	12	16	20
10	10,32679057	10,73018937	11,27905622	12,02738095	13,00844885	14,23095083	15,67767993	17,30694011	19,05691145
10	10,94776021	11,90673994	12,88695923	13,89616716	14,93901252	16,01654595	17,12610495	18,26159917	19,41416190
10	11,03758076	12,07671535	13,11893497	14,16532374	15,21654977	16,27276350	17,33398165	18,39912811	19,46512794
10	11,05046323	12,10115855	13,15229310	14,20402716	15,25645676	16,30960395	17,36341244	18,41775740	19,47245512
10	11,05231992	12,10467322	13,15708364	14,20959234	15,26219901	16,31490081	17,36770181	18,42067968	19,47360872
10	11,05298930	12,10517880	13,15777936	14,21039295	15,26302012	16,31566250	17,36831856	18,42098574	19,47366015
0	0,196679687	0,359667968	0,522656250	0,685644531	0,848632812	0,101021094	0,264009375	0,427000000	0,590000000
0	0,189327146	0,296679687	0,404032228	0,511384769	0,618737310	0,726089851	0,833442392	0,940794933	1,048147474
0	0,155480957	0,194873045	0,234265133	0,273657221	0,313049309	0,352441397	0,391833485	0,431225573	0,470617661
0	0,096612546	0,085087890	0,073563234	0,062038578	0,050513922	0,038989266	0,027464610	0,015939954	0,004415298
0	0,005709830	-0,068204877	-0,057295988	-0,03231086	-0,063956871	-0,03231086	-0,057295988	-0,068204877	0,005709830

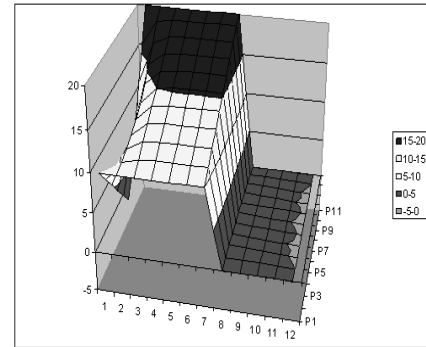


Рис. 11 – Фрагмент алгоритмічного рішення крайової задачі для рівняння теплопровідності

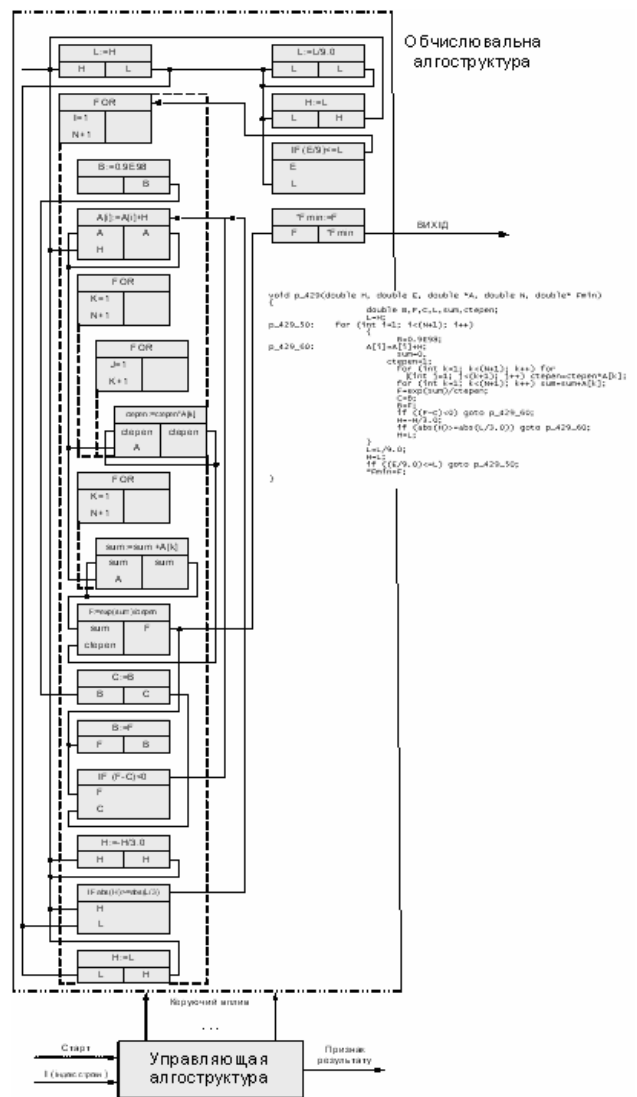


Рис. 12 – Алгоритмічна структура оптимізації методом координатного спуску

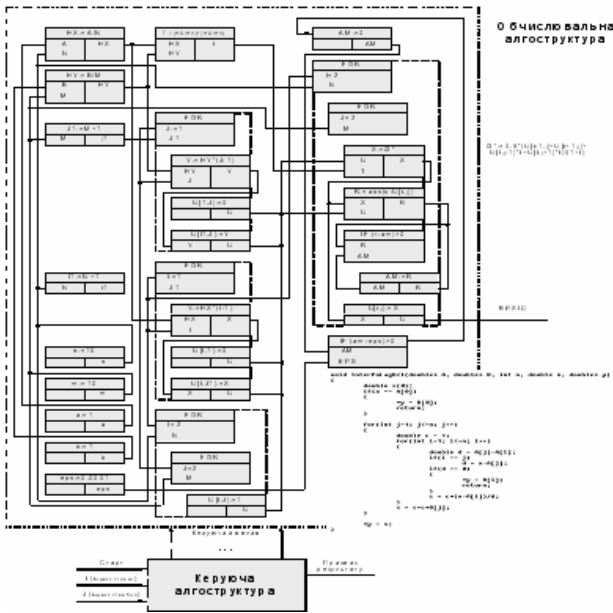


Рис. 13 – Алгоритмічна структура для інтерполяції поліномом Лагранжа

Наведені алгоритмічні моделі найбільш повно використовують наявні ресурси структур, що реконфігуруються, а тому, забезпечують найбільше розпаралелення обчислювального процесу і мають максимальну продуктивність. Алгоритмічний засіб передбачає проведення переконфігурування алгоритмічних структур за рахунок зміни логіки, комутації та структури, що дозволяє адаптувати алгоритмічні конструкції до вимог використання та спростити автоматизовану розробку моделей паралельних обчислювальних процесів (табл.2).

Таблиця 2. Порівняння способів організації обчислень в структурах, що реконфігуруються



### 3. ВИСНОВКИ

Робота є дослідженням, яке присвячено розробці моделей і методів структурно-алгоритмічної організації паралельних обчислювальних процесів в комп'ютерних системах [5]. Показано, що за допомогою комп'ютера алгоритмічне проектування дозволяє реалізувати автоматизовану розробку моделей шляхом застосування бібліотечних алгоритмічних структур і встановлення зв'язків між ними. Це суттєво скорочує термін складення моделей за рахунок поліпшення процедури проектування.

### 4. ДЖЕРЕЛА

- [1] *Active-HDL User's guide* / Second Edition. ALDEC inc., 1999. 213 p.
- [2] *IEC 1131-3. Programmable controllers – Part 3: Programming languages*. GENEVA, 1993, 414 p.
- [3] Горбатюк А.Ф. *САПР прикладного програмного забезпечення комп'ютерних систем управління AlgoCAD*. Луганск: ВГУ, 1999. 189 с.
- [4] Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. *Численные методы: учеб. пособие для студ. физ.-мат. спец. вузов*. Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. 5-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 637 с.
- [5] Горбатюк А. Ф. Горбатюк С. А. Алгоритмічний засіб проектування моделей складних систем. *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Матеріали третьої Міжнародної конференції CSIT'2008*. Львів: ПП "Вежа і Ко", 2008. С. 119-121.



**Анатолій Горбатюк, к.т.н., доцент.** Є автором більш ніж 100 наукових праць, серед яких: 3 монографії і 2 наукових посібника. Наукові інтереси: автоматизація проектування та програмування комп'ютерних систем.



**Сергій Горбатюк** є автором більш ніж 40 наукових праць. Наукові інтереси: автоматизація проектування та програмування комп'ютерних систем.