2003. – №489. 4. Гольдштейн Г.Я., Гуц А.Н. Экономический инструментарий принятия управленческих решений. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. 5. Ендовицкий Д., Коменденко С. Систематизация методов анализа и оценка инвестиционного риска http://ivr.nm.ru/2001/rus/p0103/p010307.htm. 6. Кобиляцький Л.С. Управління проектами: Навч. посібник. – К.: МАУП, 2002. – 200 с. 7. Кудрявцев В.Н. Право и поведение. –М., 1978. 8. Лепешкина М.Н. Методологические аспекты оценки рисков //Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – №6. 9. Лобанов А., Чугунов А. Риск и неопределенность в экономике //Рынок Ценных Бумаг. – 1999. – №18. 10. Михайлова П., Колосов А. Срочный рынок и управление рисками http://www.hedging.ru/publications. 11. Морозов Д.С. Проектное финансирование: управление рисками. – М.: Анкил, 1999. 12. Риски при осуществлении сделок на рынке ценных бумаг http://www.bashedu.ru/konkurs/bakirov/aug/risk.htm. 13. Рішняк І.В. Роль інформації в управлінні ризиками прийняття рішень //Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2004. – №519. 14. Рішняк І.В. Системний аналіз категорій ризику та невизначеності // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2003. – №489. 15. Старостина А.А., Кравченко В.А. Риск-менеджмент http://www.4p.com.ua/som/risk.html. 16. Терещенко Т.О. Економетричне моделювання в управлінні кредитними ризиками http://nc.ufei.ukrsat.com/konf2002/tez/sek5/terehcenko.

УДК 004.415.2

В. М. Теслюк, М. В. Лобур, П.Ю. Раєвський, П.Ю. Денисюк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра систем автоматизованого проектування

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗВ'ЯЗАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

© Теслюк В.М., Лобур М.В., Раєвський П.Ю., Денисюк П.Ю., 2005

Розроблено систему розв'язання процедур оптимізації під час проектування мікровбудованих систем. Система оптимізації OptimMEMS містить модулі для розв'язання задач одновимірної та багатовимірної умовної і безумовної оптимізації, задач лінійного програмування, модуль статистичних методів оптимізації та модуль розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації. Наведено результати тестування розробленого програмного забезпечення системи та дослідження реалізованих методів у системі.

System for solving optimization procedures in micro-buildin systems design is developed. System for optimization "OptimMEMS" include package for solving one-dimensional and multidimensional conditional and unconditional optimization problems, tasks of linear programming, package of statistical methods of optimization and package for multi-objective optimization is included. Test results of designed software and research of implemented methods in system are presented.

Вступ

Сьогодні теорія оптимізації знаходить ефективне застосування в усіх напрямках інженерної діяльності, в першу чергу в таких галузях:

- проектування систем та їх складових частин;
- планування і аналіз функціонування існуючих систем;

- інженерний аналіз і обробка інформації;
- управління динамічними системами.

Сучасні оптимізаційні задачі, які виникають під час проектування мікровбудованих систем [1–7], характеризуються надзвичайно високою складністю, тому особливого значення у цій ситуації набувають програмні системи, які прискорюють процес розв'язання оптимізаційних задач та подають результати в наочній та зручній для користувача формі.

Структура системи для розв'язання оптимізаційних задач

Система OptimMEMS призначена для розв'язання і дослідження оптимізаційних задач. Структура цієї системи містить ряд підсистем (рис. 1), а саме:

- підсистема розв'язання одновимірних задач оптимізації;
- підсистема розв'язання задач лінійного програмування;
- підсистема розв'язання задач багатопараметричної оптимізації;
- підсистема розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації;
- підсистема розв'язку задач умовної оптимізації;
- підсистема статистичних методів оптимізації;
- підсистема відображення вихідних результатів;
- підсистема вводу вхідних даних;
- модуль інтерфейсу системи;
- база даних тестових прикладів.

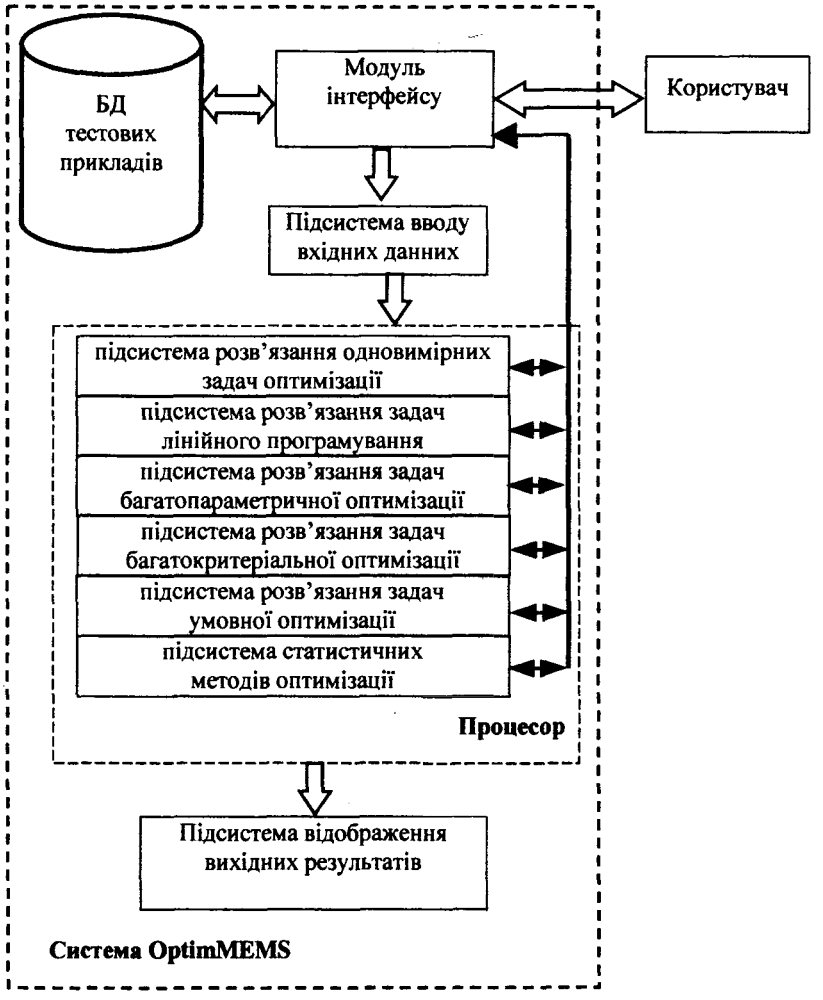

Рис. 1. Структурна схема системи OptimMEMS

Керує роботою підсистем модуль інтерфейсу. За допомогою підсистеми вводу вхідних даних вводять початкову інформацію про оптимізаційну задачу, яку необхідно розв'язати, формування вхідного завдання та контроль правильності вводу початкових даних. Підсистема відображення вихідних результатів дає змогу вивести результати розв'язання оптимізаційної задачі у формі графіка з історією вирішення задачі, що є надзвичайно корисно під час дослідження та вивчення оптимізаційних методів чи текстових файлів з подальшим друкуванням.

Математичне забезпечення системи OptimMEMS

До складу системи оптимізації входить бібліотека методів оптимізації, розрахована, як правило, для вирішення таких задач: оптимізація одновимірних одноекстремальних цільових функцій одновимірними методами [8,9]; оптимізація одноекстремальних квадратичних цільових функцій декількох змінних за допомогою методів першого чи другого порядку [8–14]; оптимізація одноекстремальних цільових функцій декількох змінних [8–14]; оптимізація багатопараметричних цільових функцій однієї чи декількох змінних чи багатопараметричних цільових функцій детермінованими методами глобального пошуку [8–14], методи розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач [15–25].

Окрім того, у підсистемі статистичних методів є бібліотека випадкових законів розподілу, що містить рівномірний закон розподілу, нормальний закон розподілу й інші закони [26, 27].

Для правильного вибору методу оптимізації необхідно знати рельєф цільової функції (одноекстремальний і т.д.), однак проектувальник об'єкта, оптимізуючи його параметри, як правило, такої інформації не має. Тому в системі можна використати один з методів попереднього дослідження виду цільової функції та її ідентифікації для раціональнішого вибору методу оптимізації і нагромадження початкової інформації з організації ефективнішого процесу пошуку оптимуму (початкової точки пошуку, початкового кроку тощо).

Особливості підсистеми виводу інформації про результати оптимізації

Ця підсистема дає змогу вивести результати оптимізації у графічному та текстовому форматі. Для прикладу наведено вміст текстового файла результатів оптимізації для підсистеми виводу, а в графічному вигляді – на рис. 2.

4.0 -2.0
-0.34 -1.46
0.94 0.45
0.74 0.55
0.85 0.71
0.92 0.84
0.97 0.94
0.99 0.99
0.999 0.999
0.99999 1.0

Назва файла – **OptimMEMS.txt**. У кожному рядку присутня інформація про координати точки для двовимірного варіанта цільової функції. Для одновимірного варіанта у кожному рядку першою цифрою є значення координати, а наступною – значення функції. Приклади відповідних меню цієї підсистеми з результатами оптимізації наведено на рис. 2.

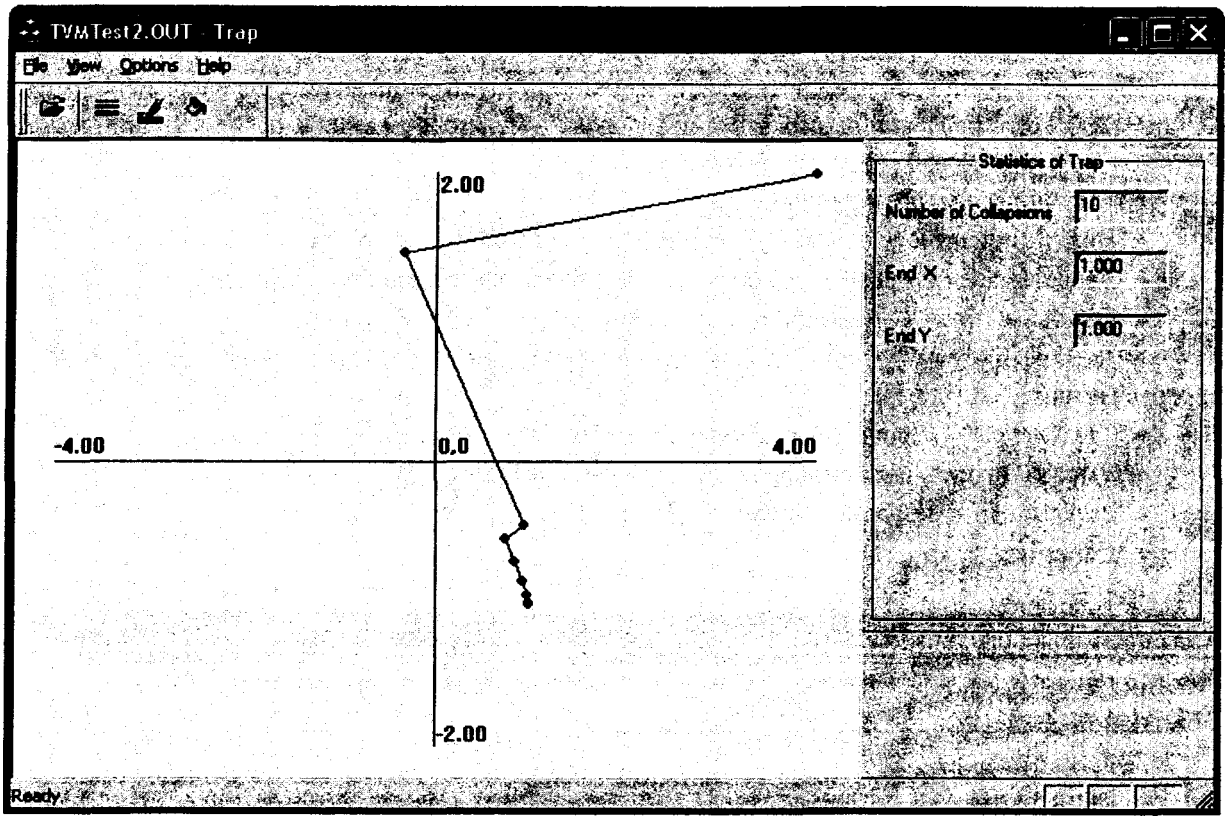

Рис. 2. Приклад графічного відображення результатів пошуку мінімуму функції за допомогою методу Флетчера–Рівса

Особливості лінгвістичного забезпечення системи

Вхідні дані для системи оптимізації можна вводити за допомогою трьох варіантів:

- вибір цільової функції та обмежень з множини тестових;
- введення з допомогою загальної функції;
- введення вхідних даних в реальному часі.

Введення вхідних даних за допомогою вибору цільової функції та обмежень з множини тестових використовують, в основному, для вивчення методів та алгоритмів оптимізації, виконання тестових прикладів і розв'язання оптимізаційних задач, які найчастіше зустрічаються під час проектування гетерогенних об'єктів.

Формуючи вхідне завдання для оптимізації за допомогою загальної функції, користувач задає лише значення коефіцієнтів. Зокрема, для введення вхідних даних під час розв'язання задач одновимірної оптимізації використовують загальну функцію такого вигляду:

F(x)=A+B*X+C*X2+D*X**3+E*X**4+F*X**5+G*X**6+H*X**7+K*Sin(X)+M*Cos(X)+N*e**X**

Запропонований підхід дає змогу описати значну частину можливих одно-, дво- та тривимірних функцій. Описувати цільові функції за допомогою цього методу у випадку, коли кількість невідомих більша ніж три, незручно.

За цією системою можна вводити вхідні дані та проводити оптимізацію в реальному часі. Оптимізацію можна проводити за відсутності цільової функції, зокрема, коли проводять оптимізацію за експериментальними даними чи обчислювальними експериментами. Особливістю цього підходу є те, що в будь-який момент часу процес оптимізації можна перервати і продовжити через деякий проміжок часу, завантажити відповідний файл з історією розв'язання оптимізаційної задачі.

Програмне забезпечення системи

Для завантаження системи оптимізації необхідно запустити на виконання виконавчий модуль OptimMEMS.exe. Після успішного запуску на екрані монітора зявиться основне меню системи "Автоматичне вивчення методів оптимізації" (рис. 3).

В основній формі розміщені підменю:

- "Вихід", призначене для коректного завершення роботи з системою;
- "Теоретичні Відомості" – для вивчення теорії основних методів оптимізації;
- "ОдновимОптим" – для вибору методу одновимірної оптимізації;
- "ЛінійнеПрограм" – для вибору методу розв'язання оптимізаційних задач лінійного програмування;
- "СтатОптим" – для вибору статистичних методів оптимізації;
- "УмовнаОптим" – для вибору методів умовної оптимізації;
- "Результати" – результати оптимізації;
- "Допомога".

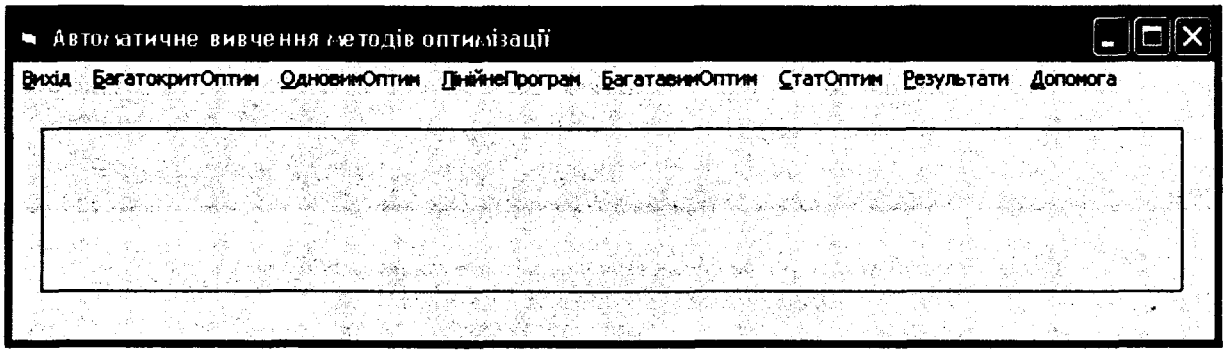

Рис. 3. Основне меню системи

Натискання вказівником миші на меню „ОдновимОптим" призводить до появи випадаючого меню, з якого вибирається метод одновимірної оптимізації (рис. 4). На рис. 5–6 наведено приклади меню для розв'язання одновимірних оптимізаційних задач.

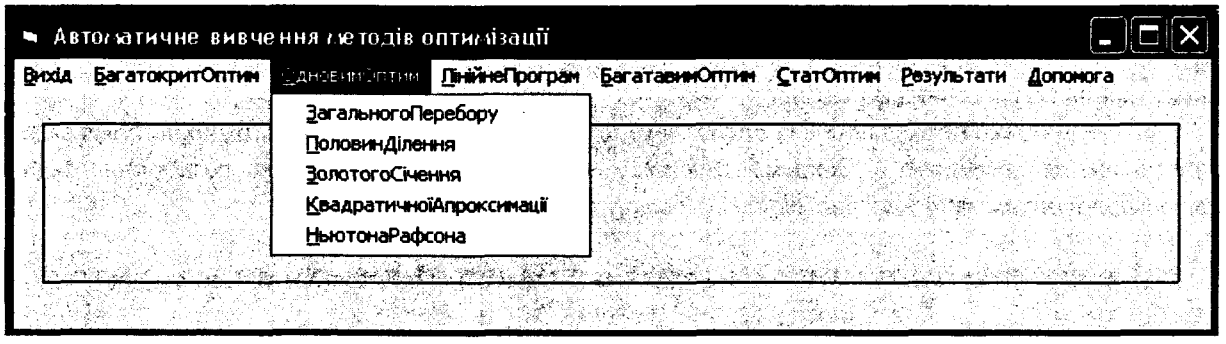

Рис. 4. Вибір методу одновимірної оптимізації

Поля „A=", „B=", „C=", „D=", „E=", „F=", „G=", „H=", „K=", „M=", „M=" призначені для вводу цільової функції. В полях „Інтервал пошуку " задається інтервал невизначеності, де *проводиться пошук оптимуму. Поле „Точність" визначає точність пошуку розв'язання задачі.* Задавши вищезазначені параметри, натискають кнопку „Порахувати". У результаті в полях „Кількість обчислень значень функції", „Значення функціці", „Значення координати" та „Кільк.ітерацій Координата Знач.функції" будуть виведені результати розв'язання задачі. За необхідності завершити роботу за даним методом необхідно натиснути кнопку „Закрити".

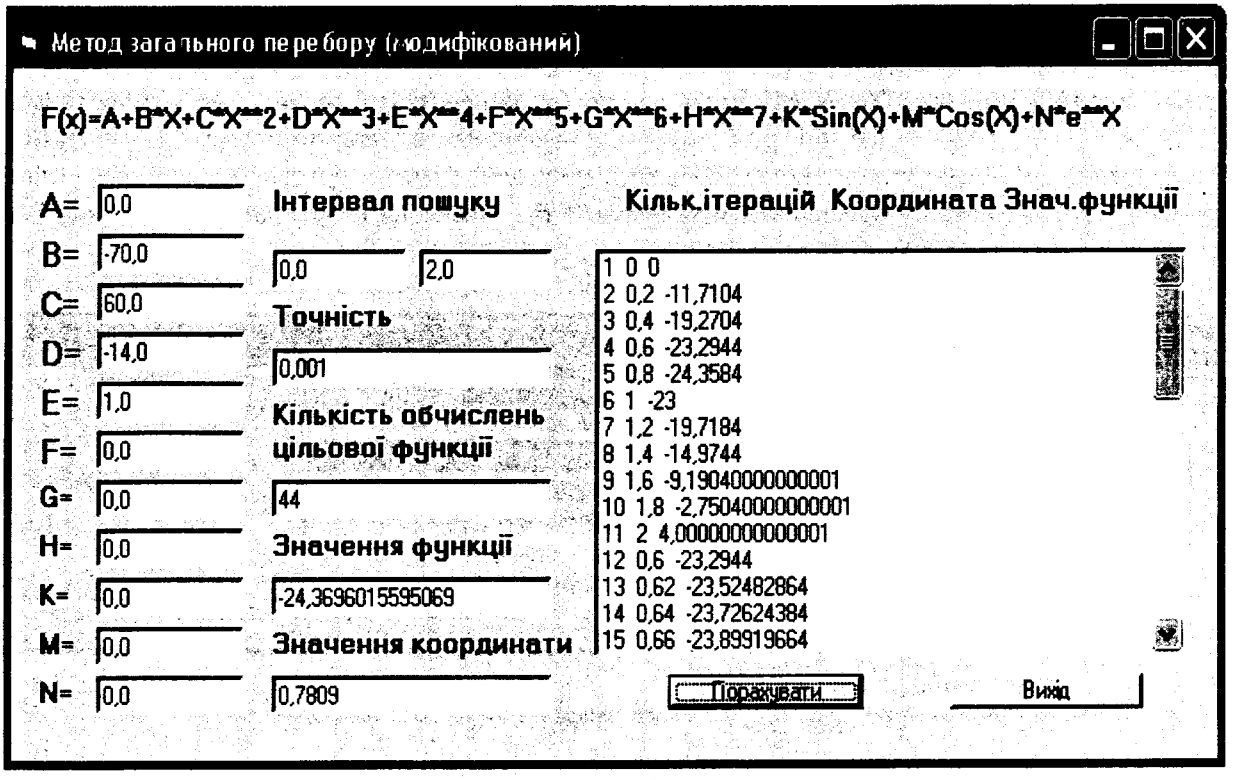

Рис. 5. Приклад меню для розв'язання задач одновимірної оптимізації методом загального перебору

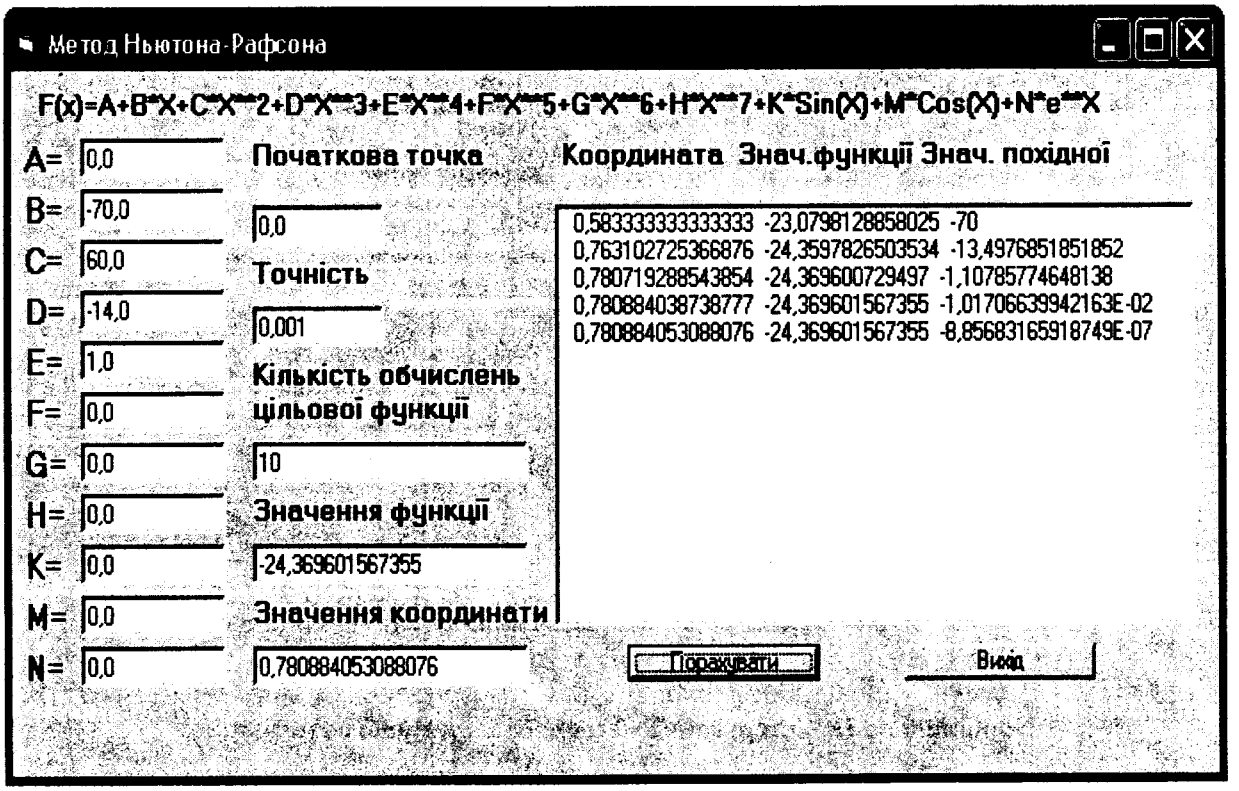

Рис. 6. Приклад меню для розв'язання задач одновимірної оптимізації методом Ньютона–Рафсона

Розв'язуючи задачі багатопараметричної оптимізації, цільову функцію вибирають з вікна „Цільова функція" чи вводять за допомогою коефіцієнтів. Для вводу вхідних даних необхідно задати значення в полях „Точність", „Крок" та параметри початкової точки в полях „Координати початкової точки Хо". Щоб почати обрахунки, необхідно натиснути кнопку „Порахувати". Результати будуть відображені в полях „Кількість обчислень значень цільової функції", „Значення функції", „Кільк.ітерацій Координата Знач.функції" та „Значення координати Х*". На рис. 7–9 наведено приклади меню методів оптимізації.

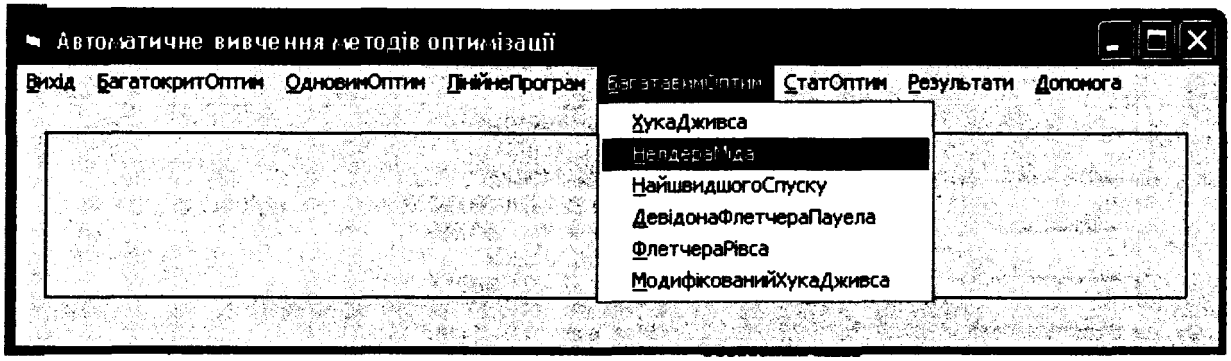

Рис. 7. Приклад меню для вибору методу розв'язання задач багатовимірної оптимізації

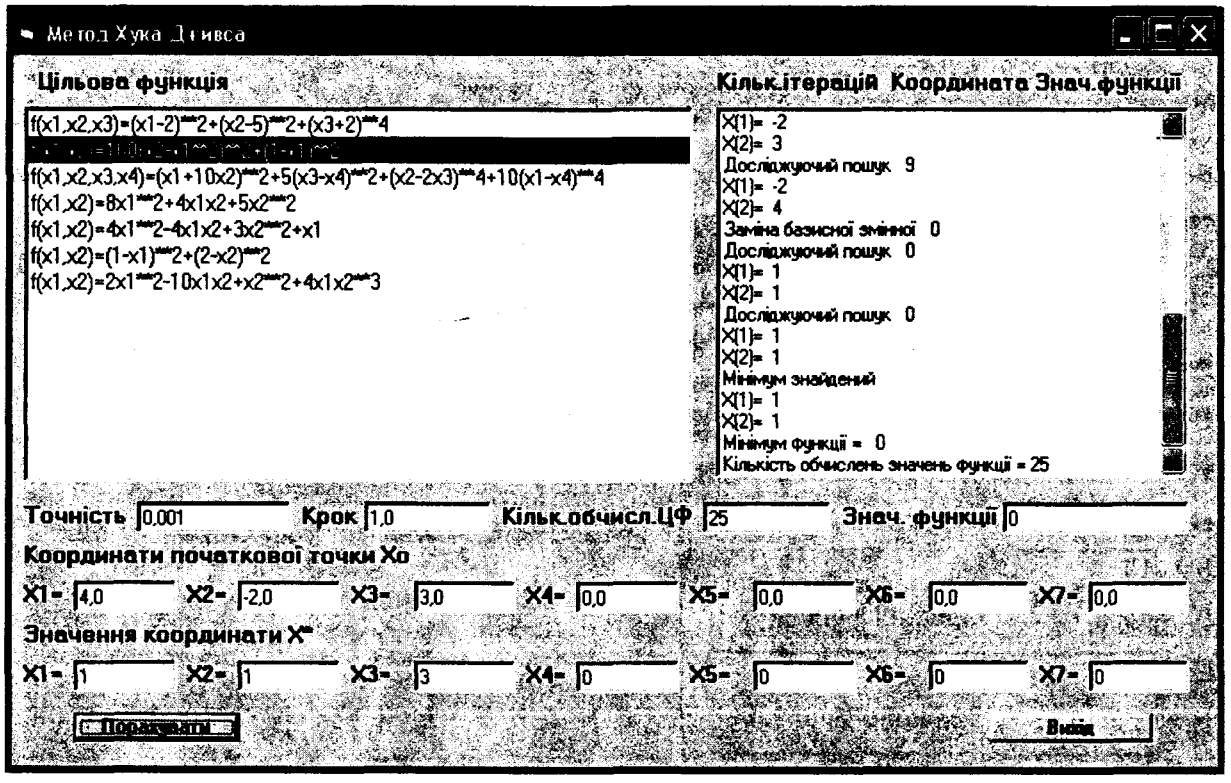

Рис. 8. Приклад меню розв'язання задач методом Хука–Дживса

Порівняльна характеристика методів одновимірної оптимізації

Найкращими критеріями порівняння методів пошуку серед методів дроблення інтервалу, описаних вище, є їх ефективність і універсальність. Під ефективністю алгоритму зазвичай розуміють число обчислень цільової функції, необхідне для досягнення необхідного звуження інтервалу невизначеності.

Універсальність алгоритму означає, що його можна легко застосувати для розв'язання найрізноманітніших задач. З точки зору універсальності малоефективний метод загального пошуку має принаймні одну перевагу: його можна з успіхом застосовувати і для неунімодальних функцій, якщо вони досить гладкі. Нерідко заздалегідь не відомо, чи є цільова функція, що розглядається, унімодальною. В таких випадках потрібно скористатися декількома різними алгоритмами і подивитися, чи дають вони всі один і той самий оптимум. Тобто можна зробити важливий висновок: не існує універсального алгоритму, який давав би змогу розв'язувати будь-які задачі оптимізації. Розв'язуючи складні задачі оптимізації, потрібно користуватися різними методами, оскільки це збільшує частку вдалих рішень.

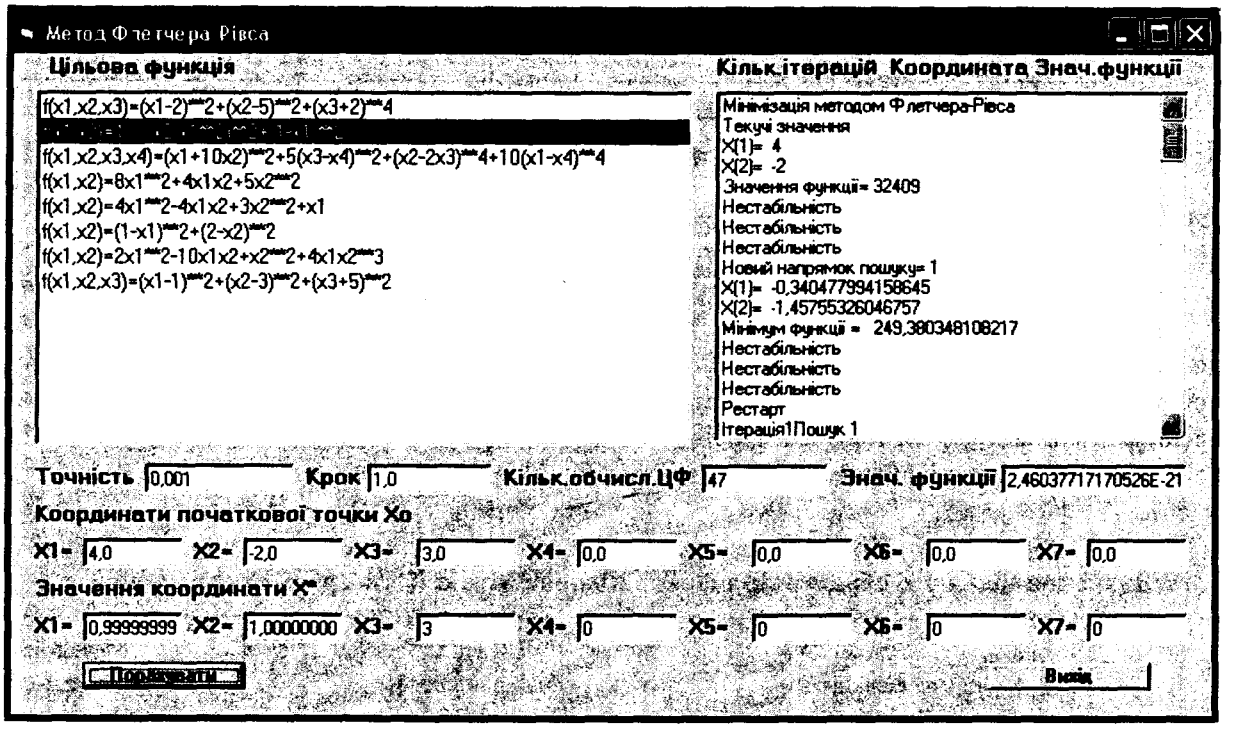

Рис. 9. Приклад меню рішення задач методом Флетчера–Рівса

У табл. 1 наведено значення кількості обчислень значення цільової функції під час розв'язання одновимірних задач оптимізації різними методами.

Таблиця 1

Значення кількості обрахунків значень цільової функції

Цільова функція	Методи одновимірної оптимізації				
	Загального перебору	Половинного ділення	Золотого перерізу	Квадратичної апроксимації	Ньютона-Рафсона
$f(x) = x^4 - 14x^3 + 60x^2 - 70x$	**44**	**23**	**18**	**9**	**10**
$f(x) = -0.3333x^3 + e^x + 2x$	**66**	**37**	**28**	**7**	**12**
$f(x) = x^3 - 3Sin(x)$	**55**	**33**	**25**	**7**	**10**

Отримані результати свідчать, що найефективнішим є метод поліноміальної апроксимації. Хороші результати досягнуто за методами Ньютона–Рафсона та золотого перерізу.

Порівняльна характеристика методів нульового порядку багатовимірної оптимізації

Наведені в табл. 2 результати значень кількості обрахунків багатопараметричної цільової функції під час застосуванні методів нульового порядку свідчать, що за цим параметром кращим є метод Хука–Дживса порівняно з методом Нелдера–Міда.

Таблиця 2

Значення кількості обрахунків значень цільової функції під час застосування методів нульового порядку

Цільова функція	Метод Нелдера–Міда	Метод Хука–Дживса
f(x1,x2,x3)=(x1-2)**2+(x2-5)**2+(x3+2)**4	127	64
f(x1,x2)=100(x2-x1**2)**2+(1-x1)**2	298	25
f(x1,x2,x3,x4)=(x1+10x2)**2+5(x3-x4)**2+(x2-2x3)**4+10(x1-x4)**4	288	74

Порівняльна характеристика градієнтних методів багатовимірної оптимізації

У табл. 3 наведено значення кількості обрахунків значень цільової функції для градієнтних методів найшвидшого спуску, Девідона–Флетчера–Пауела та Флетчера–Рівса. Найкращі результати отримано за методами Девідона–Флетчера–Пауела та Флетчера–Рівса, хоча результати значною мірою залежать від цільової функції і методу одновимірної оптимізації, що використовується під час програмної реалізації вищенаведених методів.

Таблиця 3

Значення кількості обрахунків значень цільової функції для градієнтних методів

Цільова функція	Метод найшвидшого спуску	Метод Девідсона–Флетчера–Пауела	Метод Флетчера–Рівса
f(x1,x2,x3)=(x1-2)**2+(x2-5)**2+(x3+2)**4	338	62	12
f(x1,x2)=100(x2-x1**2)**2+(1-x1)**2	14365	205	47
f(x1,x2,x3,x4)=(x1+10x2)**2+5(x3-x4)**2+(x2-2x3)**4+10(x1-x4)**4	22080	253	42650
f(x1,x2)=8x1**2+4x1x2+5x2**2	90	8	5

Висновки

Розроблено систему автоматизованого розв'язання задач оптимізації, яка враховує специфіку та особливості гетерогенних мікровбудованих систем.

Досліджено методи одновимірної оптимізації за параметром кількості обрахунків цільової функції. Отримані результати свідчать, що найефективнішим методом є метод квадратичної апроксимації. Тому, реалізуючи методи Девідона–Флетчера–Пауела та Флетчера–Рівса використано цей метод для розв'язання задач одновимірної оптимізації.

Проаналізовано методи нульового порядку для вирішення багатопараметричних безумовних задач. Метод Хука—Дживса потребує, як правило, в 2–8 разів меншої кількості обчислень значень цільової функції ніж метод Нелдера–Міда.

Проаналізовано градієнтні методи розв'язання оптимізаційних багатопараметричних задач: найшвидшого спуску, Девідона–Флетчера–Пауела та Флетчера–Рівса. Найефективнішим методом є метод Флетчера–Рівса та Девідона–Флетчера–Пауела, хоча результати значною мірою залежать від

цільової функції і методу одновимірної оптимізації, що використовується для програмної реалізації вищенаведених методів.

1. Maluf, Nadim An introduction to microelectromechanical system egineering//Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 2. http://www.tanner.com. 3. http://www.memcap.com. 4. http://www.cadence.com. 5. http://www/micromachine.narod.ru. 6. http://www.dbanks.demon.co.uk. 7. http://www.-ee.uta.edu/Online/ebutlek/MEMS webpage/. 8. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. – М.:Мир, 1975. –535с. 9. Батищев Д.И. Поисковые методы оптимального проектирования. – М.: Сов.радио, 1975. – 216с. 10. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. – М.: Радио й связь, 1984. – 248с. 11. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509с. 12. Реклейтис Г., Рейвиндрон А., Рзгсдед К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 349 с. 13. Реклейтис Г., Рейвиндрон А., Рзгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн.2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 320 с. 14. Шуб Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. Практическое руководство: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с. 15. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето–оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. 16. Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. — М.: Наука, 1981. 17. Городецкий С.Ю. Многоэкстремальная оптимизация на основе триангуляции области // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник Нижегородского государственного университета. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 1999. – Вып. 2(21). – С. 249–269. 18. Р.Л. Кини, Х. Райфа. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. 19. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: МГУ, 1983. 20. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения. – М.: Наука, 1987. 21. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000. 22. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. – М.: Наука, 1984. 23. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. – М.: Наука, 1997. 24. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. 25. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления и приложения. – М.: Радио и связь, 1992. 26. Полляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М.: Советское радио, 1971. – 400 с. 27. Черненький В.М. Разработка САПР. В 10 кн. Кн. 9. Имитационное моделирование: Практ. пособие // Под.ред. А.В. Петрова. – М.: Высш. шк., 1990. – 112 с.