

© М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, В.А. Дергачов, О.Л. Бурлесєв, О.С. Чуйко

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ЧАСОВИМИ І ВАРТІСНИМИ ВИТРАТАМИ

Розглянута методологія оптимального планування експериментів, що включає комплекс методів оптимізації планів експерименту та програмно-апаратні засоби для їх реалізації. Описані функціональні можливості розроблених програмних засобів. Програмне забезпечення апробовано на ряді реальних і модельних прикладах, видані рекомендації по його застосуванню.

Рассмотрена методология оптимального планирования экспериментов, которая включает в себя комплекс методов оптимизации планов эксперимента и программно-аппаратные средства для их реализации. Описаны функциональные возможности разработанных программных средств. Программное обеспечение апробировано на ряде реальных и модельных примеров, выданы рекомендации по его использованию.

The methodology of the optimum experiment planning, which comprises complex of methods of experiment plan optimization and program hardware for their realization, was considered. The functional possibilities of made software programs were described. Software was approved on row real and model examples, recommendations of its use were issued.

Вступ. При вирішенні задач оптимізації та керування різними об'єктами виникає проблема одержання математичних моделей вказаних об'єктів. При цьому доцільно отримувати моделі при мінімальних вартісних і часових витратах. Відомі пакети прикладних програм, наприклад Statistika, Matcad та інші, не враховують вартісні та часові витрати на реалізацію синтезованого плану експерименту. Авторами розроблено ряд алгоритмів і програм, що реалізують оптимізацію по вартісним і часовим витратам планів експерименту з використанням наступних методів: аналіз перестановок рядків матриці планування [1], випадковій пошук [1], гілок і меж [2,3], послідовних наближень. Виконано порівняльний аналіз цих методів оптимізації планів багатofакторного експерименту. Розроблені алгоритми і програми використовуються окремо для вирішення задач оптимізації двохрівневих і композиційних планів багатofакторного експерименту. В зв'язку з цим необхідна взаємоув'язка розроблених програмних засобів в програмному комплексі з оптимального планування експерименту.

Мета статті. Для підвищення ефективності експериментування й моделювання складних технологічних і технічних об'єктів необхідно розробити методологію оптимального за вартісними і часовими витратами планування експерименту, яка буде включати комплекс методів ефективного експериментування, комплекс програмних засобів, що реалізують ці методи, а також системи та пристрої для синтезу й реалізації оптимальних планів експерименту. При цьому комплекс програмних систем повинен включати в собі: програмні засоби ітераційного та послідовного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту, програмну систему оптимального за вартісними і часовими витратами планування експерименту для динамічних об'єктів, а та-

кож програми оптимізації планів експерименту з використанням раніше перерахованих методів.

Розроблену методологію необхідно випробувати при дослідженні ряду технологічних процесів, приладів і систем.

Основні матеріали дослідження. На рис. 1 наведена методологія оптимального планування експериментів, яка включає в собі комплекс методів синтезу оптимальних за вартісними і часовими витратами планів, комплекс програмних систем та системи й пристрої для синтезу та реалізації оптимальних планів експерименту.

Для синтезу начальних планів експерименту застосовуються наступні методи: ітераційного, послідовного та планування експерименту для динамічних об'єктів.

При цьому метод ітераційного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту доцільно застосовувати для об'єктів з кількістю суттєвих факторів $K \leq 4$, метод послідовного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту – для об'єктів з кількістю таких факторів $K > 4$. Для дослідження динамічних об'єктів використовується метод оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту, який є модифікацією ітераційного планування експерименту щодо статичних об'єктів. З метою реалізації запропонованих методів розроблено комплекс програмних систем, що містить програмні засоби ітераційного та послідовного планування експерименту, а також програмну систему оптимального планування експерименту для динамічних об'єктів.

Для подальшої оптимізації планів експерименту за часовими та вартісними витратами використовуються наступні методи: аналіз перестановок рядків матриці планування експерименту, випадковий пошук, гілок і меж, послідовних наближень. З метою реалізації цих методів оптимізації розроблені наступні програми пошуку оптимальних планів: багатфакторного експерименту (БФЕ); БФЕ з заданими обмеженнями; багаторівневих комбінаторних планів БФЕ; БФЕ методом гілок і меж, багаторівневих комбінаторних планів БФЕ методом гілок і меж; БФЕ методом гілок і меж з введенням обмеження на додатковий критерій; композиційних планів методом гілок і меж (двохпараметрична оптимізація); багаторівневих планів БФЕ методом послідовних наближень.

Розглянемо функціональні можливості розроблених програм.

Програма пошуку оптимальних планів багатфакторного експерименту дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати двохрівневі плани експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №29920 від 17.08.2009 р.).

Програма пошуку оптимальних планів БФЕ з заданими обмеженнями дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати за вартісними або часовими витратами на експеримент двохрівневі плани у випадку присутності обмежень на перестановку окремих рядків матриці планування (свідоцтво №29921 від 17.08.2009 р.).

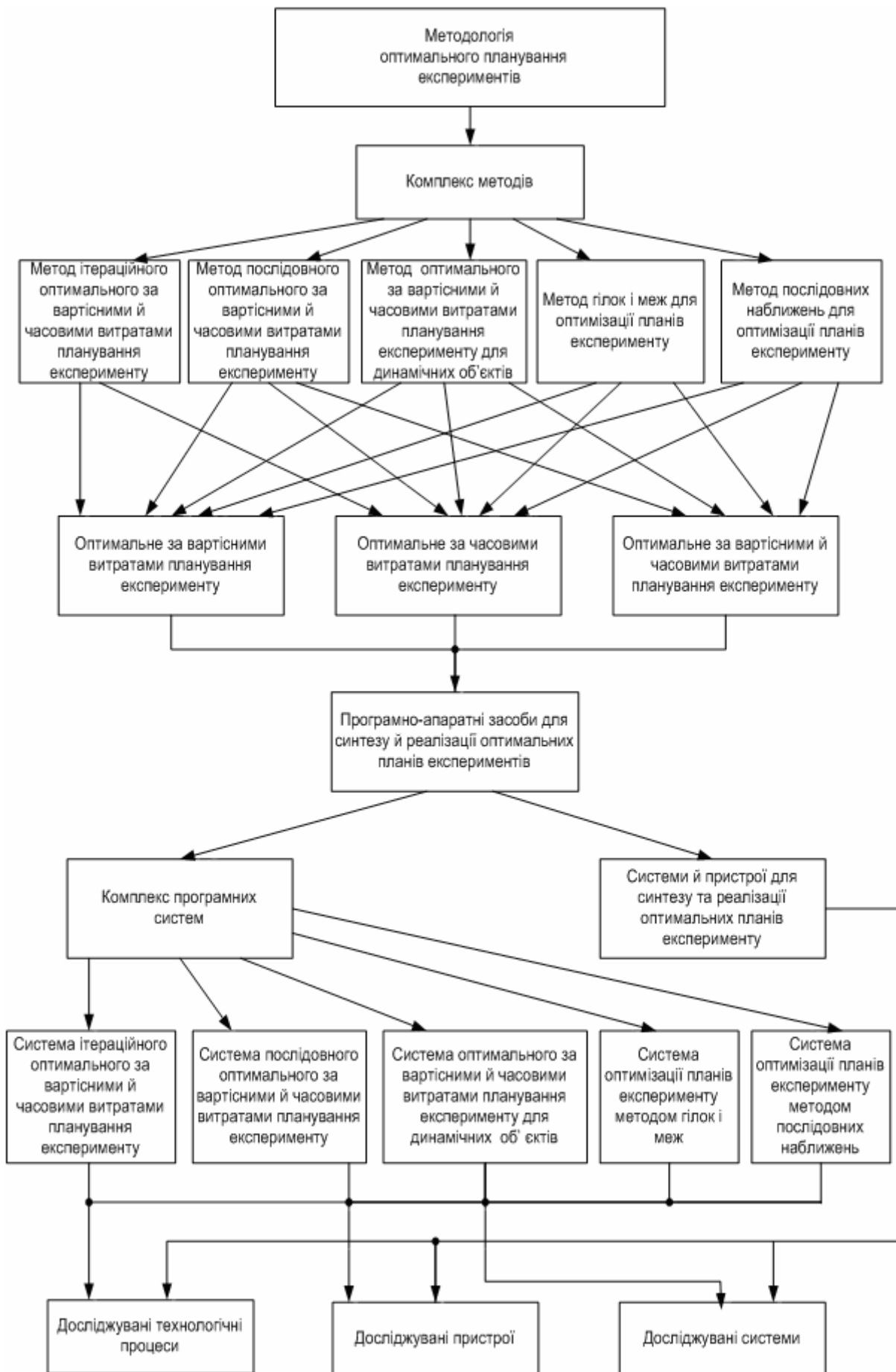


Рис. 1. Методологія оптимального планування експериментів

Програма пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів БФЕ дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати багаторівневі комбінаторні плани багатофакторного експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію (свідоцтво №31824 від 28.01.2010 р.).

Програма пошуку оптимальних планів БФЕ методом гілок і меж дозволяє указаним методом оптимізувати за вартісними або часовими витратами двохрівневі плани експерименту

Програма пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів БФЕ дозволяє методом гілок і меж оптимізувати композиційні плани експерименту за часовими або вартісними затратами на його реалізацію.

Програма пошуку оптимальних планів БФЕ дозволяє методом гілок і меж оптимізувати за вартісними або часовими витратами двохрівневі плани у випадку, коли один із критеріїв використовується як обмеження.

Програма двохпараметричної оптимізації дозволяє оптимізувати методом гілок і меж композиційні плани за вартісними і часовими витратами на реалізацію експеримента.

Програма пошуку оптимальних багаторівневих планів БФЕ дозволяє методом послідовних наближень оптимізувати композиційні плани експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію.

Розроблене програмне забезпечення реалізовано мовами програмування TURBO PASCAL і DELPHI, побудовано за модульним принципом і допускає гнучку адаптацію для вирішення більш широкого класу задач.

Спілкування користувача і ЕОМ відбувається в діалоговому режимі, ініціатором якого виступає ЕОМ. На запити необхідно ввести відповідну інформацію: імена файлів вхідних даних і результату, вид пошуку, його глибину й інші параметри залежно від програми, що використовується.

У процесі роботи програм на дисплеї відображається кількість проаналізованих варіантів та екстремальні значення вартості серед розглянутої множини варіантів. При завершенні роботи формується вихідний файл, у який записується інформація про вхідні дані, матриці планування для мінімального й максимальних за вартістю реалізації варіантів, час розрахунку та інше.

Розроблене спеціальне програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процес вирішення задачі, скоротити терміни розроблення оптимальних за вартістю планів, підвищити вірогідність одержуваних результатів, скоротити час і зменшити вартість експерименту.

Розроблене програмне забезпечення апробовано на ряді реальних і модельних прикладах, що наведені в таблиці 1.

В результаті проведеного дослідження програмного забезпечення встановлено, що застосування методології оптимального планування дає вигоду у вартості або часі реалізації експерименту в 1,14 – 7,4 рази. Для об'єктів з кількістю факторів $K \leq 3$ для оптимізації планів доцільно застосовувати аналіз перестановок рядків матриці планування експерименту. У випадку, коли $K > 3$ доцільно застосовувати метод гілок і меж або метод послідовних наближень, інколи хороші результати дає метод випадкового пошуку.

Таблиця 1

Результати дослідження програмного забезпечення на ряді реальних та модельних прикладів

Об'єкт дослідження		План експерименту	Кількість факторів K та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів				
Т	Процес калібровки вологомірів	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,14				
	Процес гальванічного міднення печатних плат	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перестановок Випадковий пошук	Вартість 1,5 1,9				
Н	Процес вимірювання площі металізації печатних плат	ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5				
Л	Виробництво напівпровідникових приладів: процес ультразвукового різання пластин; процес сплавлення кристалів; процес травлення	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,6				
						ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	1,4
І	Процес штампування корпусу катера	ДФЕ	K=5; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5				
П	Процес виготовлення армованих деталей	ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 2,21				
	Процес випробування радіоелектронного пристрою: етап 1 етап 2	Плакетта-Бермана	K=7; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 3,37 3,24				
Ц	Робота оператора радіолокаційної станції: режими роботи; стійка працездатність	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 3,8 3,95				
						ДФЕ	K=5; N=16	Аналіз перестановок Випадковий пошук	1,64 7,40
И	Робота оператора радіоелектронної станції	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,67 1,73				

Продовження табл. 1

Об'єкт дослідження	План експерименту	Кількість факторів К та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів	
Обслуговування станків з числовим програмним керуванням: режими роботи; продуктивність ділянки цеху	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,36 1,38	
	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	1,17 1,00	
	Процес глибокого плазмохімічного травлення	ПФЕ	K=3; N=8	Гілок і меж: T _{обм} =150 хв	Вартість 1,28
	Процес отримання пористих матеріалів	ОЦКП	K=4; N=25	Гілок і меж	Вартість 5,47 Час 7,33
	Процес приготування фаршу	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 2,57
Процес приготування попкорну	ДФЕ	K=5; N=18	Послідовне наближення Аналіз перест. Випадк.пошук	Вартість 3,36 1,37 2,26	
П Р И Л А Д И	Безконтактні вимірювачі постійних струмів: живлення 9 В; живлення 5 В	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,33 1,34
	Вихорострумкові вимірювачі товщини діелектричних покриттів	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук Ітерац.планув.	Вартість 1,81 2,01 1,78
	Пристрій для контролю якості діелектричних матеріалів	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук Ітерац.планув. Гілок і меж	Вартість 1,2 1,0 2,13 1,44
	Фотоелектричні перетворювачі кутових переміщень: розміщення світловодів; вихідні параметри	ПФЕ ОЦКП	K=3; N=8 K=3; N=15	Аналіз перест. Гілок і меж	Вартість 1,3 1,67
	Вимірювачі вологості сипких матеріалів	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 4,65
	Напівпровідниковий терморегулятор	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	Вартість 1,5 2,48
		добудова до РЦКП РЦКП	K=4; N=15 K=4; N=31	Аналіз перест. Випадк.пошук Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	1,99 2,31 3,05 4,19

Об'єкт дослідження		План експерименту	Кількість факторів K та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів
С И С Т Е М И	Ваговимірвальна система	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,61
	Система для визначення витрати палива у ДВЗ	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,2–1,3
	Агрегат судової енергетичної установки	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5
	Комплекс технічних систем: технічне обслуговування; простої системи	РЦКП	K=4; N=31	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,5
					1,55
		ДФЕ	K=5; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	1,35 2,85
Слідкуюча система	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 3,78	

Висновки. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методологія оптимального планування експерименту, яка дозволяє зменшити вартісні й часові затрати на проведення експериментальних досліджень. Теоретична значимість результатів полягає в тому, що розроблену методологію можна застосовувати для різноманітних об'єктів, які дозволяють проведення на них активних експериментів. Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблено комплекс програм для оптимізації планів експерименту за вартісними і часовими витратами. Ефективність і працездатність програмного забезпечення перевірена при дослідженні ряду реальних і модельних прикладів дослідження різноманітних об'єктів.

Список літератури

1. Кошовий М.Д. Оптимальне планування при дослідженні технологічних процесів, приладів і систем / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, О.В. Заболотний та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2010.– 161с.
2. Кошевой Н.Д. Применение метода ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010.– №1(42). – С.67-70.
3. Кошевой Н.Д. Оптимальное планирование эксперимента с введением ограничения по дополнительному критерию / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Вісник Сумського державного університету. – 2010.–№3. –Т.2. –С.63-67.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 19.05.11*