

УДК 519.24:62.50

Н.Д. КОШЕВОЙ¹, О.Л. БУРЛЕЕВ¹, Е.М. КОСТЕНКО²¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Полтавская государственная аграрная академия, Украина*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОФАКТОРНЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработан алгоритм оптимизации многофакторных планов эксперимента методом ветвей и границ. Показана эффективность его применения при исследовании бесконтактных измерителей постоянного тока и плотности тока, системы расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания, технологического процесса измерения площади металлизации печатных плат. Работоспособность алгоритма подтверждается совпадением оптимальных планов, полученных этим методом и методом анализа перестановок строк матрицы планирования, при исследовании указанных приборов, систем и технологических процессов. Совпадение справедливо для планов с количеством факторов $k \leq 3$.

Ключевые слова: эффективность, алгоритм, метод ветвей и границ, планирование эксперимента, оптимальный план, стоимость.

Введение

Постановка проблемы. При решении задач оптимизации и управления различными объектами возникает проблема получения математических моделей указанных объектов. При этом оправдано стремление экспериментаторов получать эти модели при минимальных стоимостных и временных затратах. Особенно эта задача актуальна при исследовании дорогостоящих и длительных процессов.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны методы синтеза оптимальных по стоимостным и временным затратам планов эксперимента [1 – 3], основанные на использовании следующих видов оптимизации: анализ перестановок, случайный поиск. Эффективность разработанных методов доказана при исследовании ряда различных объектов: технологических процессов [2, 3], приборов [4, 5] и систем [6]. Целесообразно проверить оптимальность планов, полученных этими методами, применив метод ветвей и границ.

Цель работы: разработать алгоритм оптимизации многофакторных планов эксперимента методом ветвей и границ и доказать эффективность его применения.

Основные результаты исследований

Сущность такого алгоритма, схема которого изображена на рис. 1, заключается в следующем.

Этап 1. В начале работы алгоритма производится ввод следующих исходных данных: количество факторов k ($k \leq 7$); количество опытов в плане эксперимента; матрица стоимостей изменений уровней уровней факторов.

Этап 2. Формирование рабочей матрицы стоимостей взаимных переходов опытов в плане эксперимента. Это осуществляется путем суммирования стоимостей переходов уровней каждого фактора для соответствующего опыта.

Этап 3. Производится вычисление нижней границы минимальной рекордной стоимости.

Этап 4. До тех пор пока размер текущей матрицы стоимостей больше чем 2×2 , работает дополнительный цикл алгоритма, который вложен в основной. При этом на каждом шаге его работы проверяется условие: не превышает ли текущая граница F величину минимальной рекордной стоимости S_{\min} . В случае положительного исхода происходит принудительный выход из дополнительного цикла и выполняются операторы основного цикла. При отрицательном исходе осуществляется приведение рабочей матрицы стоимостей и затем определяются степени нулевых элементов в ней. После этого выбирается очередная вершина для дальнейшего ветвления. Отброшенная вершина заносится в список неразработанных вершин в том случае, если ее граница удовлетворяет основному условию (значение границы $\{F_n\}$ меньше минимальной рекордной стоимости $\{S_{\min}\}$). Размер рабочей матрицы стоимостей уменьшается в том случае, если для ветвления выбрана вершина, матрица стоимостей которой включает в себя элемент с максимальной степенью нуля.

Этап 5. Если размер рабочей матрицы становится равным 2×2 , то происходит выход из дополнительного цикла. При этом в основном цикле вычисляется стоимость очередного полученного плана. Если она меньше минимальной рекордной стои-

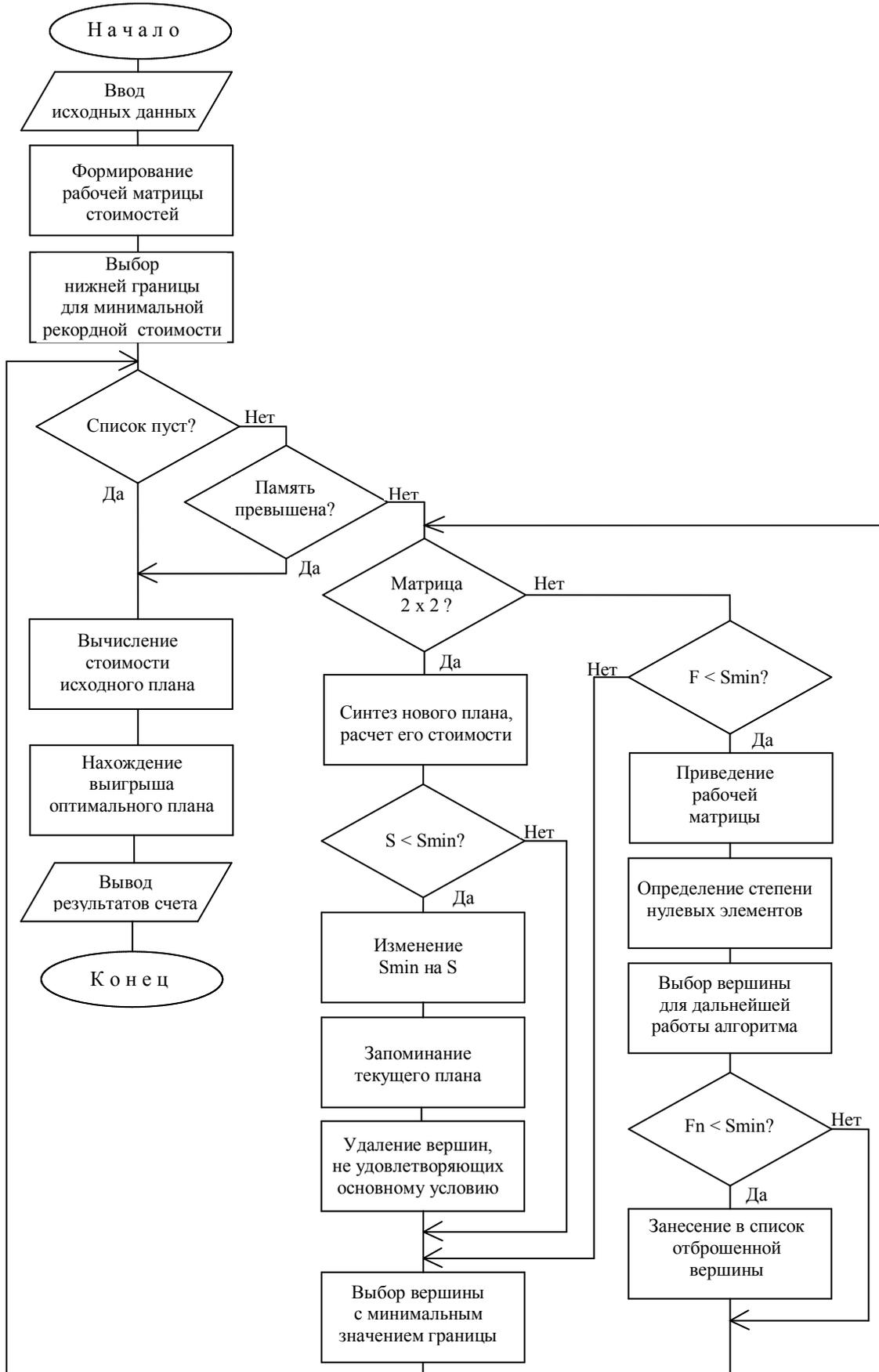


Рис.1. Схема алгоритма, реализующего оптимизацию многофакторных планов экспериментов методом ветвей и границ

мости, то становится ею, а найденный при этом план эксперимента – оптимальным.

Этап 6. Осуществляется проверка списка неразработанных вершин по основному условию. Все вершины, которые не удовлетворяют этому условию, исключаются из списка

Этап 7. Выбор из списка неразработанных вершин вершины с минимальным значением границы. Выход из основного цикла осуществляется тогда, когда список неразработанных вершин пуст и поэтому для дальнейшего ветвления не выбрана вершина. Принудительный выход из основного цикла происходит также при превышении лимита выделенной для списка памяти.

Этап 8. После выхода из основного цикла осуществляется вычисление стоимости исходного плана и нахождение выигрыша при реализации оптимального по стоимости плана эксперимента.

Этап 9. Выводятся на печать следующие результаты счета: оптимальный план; стоимости исходного и оптимального планов; выигрыш при реализации оптимального по стоимости плана эксперимента.

Проверка работоспособности алгоритма, реализующего метод ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента, осуществлялась на ряде практических задач, решенных методами анализа перестановок и случайного поиска.

При исследовании переносных дизелькомнатных влагомеров методом ветвей и границ получен еще один план эксперимента (табл.1), который имеет такую же стоимость как и оптимальный план, полученный методом анализа перестановок строк матрицы планирования [4].

Стоимость реализации эксперимента по оптимальному плану составляет 70 усл. ед. При изменении стоимости начальной установки уровней факторов [4] стоимость реализации эксперимента по этому плану составляет 110 усл. ед.

Таблица 1
Оптимальные планы эксперимента

Анализ перестановок			Метод ветвей и границ		
Номер опыта	Обозначение факторов		Номер опыта	Обозначение факторов	
	X ₁	X ₂		X ₁	X ₂
2	+1	-1	1	-1	-1
1	-1	-1	2	+1	-1
3	-1	+1	4	+1	+1
4	+1	+1	3	-1	+1

Работоспособность алгоритма, реализующего метод ветвей и границ для оптимизации многофак-

торных планов экспериментов, подтверждается совпадением оптимальных планов, полученных этим методом и методом анализа перестановок при исследовании бесконтактных измерителей постоянного тока и плотности тока [5], системы расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания [6], технологического процесса измерения площади металлизации печатных плат [2, 3]. При этом стоимости реализации оптимальных планов эксперимента для исследования бесконтактных измерителей постоянного тока и плотности тока составляет: 4,05 усл. ед. при U_{пит} = 9В и 1,72 усл. ед. при U_{пит} = 5В. Стоимость реализации оптимальных планов эксперимента для исследования системы расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания приведены в табл. 2.

Стоимость реализации экспериментов по оптимальным планам для исследования технологического процесса измерения площади металлизации печатных плат равна 3,99 усл. ед., а время проведения эксперимента – 25,3 мин.

Таблица 2
Стоимость реализации оптимальных планов эксперимента

Вид топлива	Режим работы ДВС	Стоимостные затраты, усл. ед.
Бензин	Режим холостого хода	1,14
Газ		1,12
Бензин	Работа на первой передаче	1,86
Газ		1,53
Бензин	Нормальный режим	1,83
Газ		1,49

Выводы

Разработан алгоритм, реализующий оптимизацию многофакторных планов экспериментов методом ветвей и границ. Доказана работоспособность и эффективность разработанного алгоритма при исследовании приборов, систем и технологических процессов.

Совпадение оптимальных планов, полученных методом анализа перестановок и методом ветвей и границ, справедливо для объектов с количеством существенных факторов $k \leq 3$.

Литература

1. Кошевой Н.Д. Метод итерационного планирования оптимальных по стоимостным и временным затратам экспериментов / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип.19. – С. 44-48.

2. Кошевой Н.Д. Оптимальное планирование эксперимента для исследования динамических объектов / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип.20. – С. 57-62.

3. Кошевой Н.Д. Метод оптимального по стоимостным и временным затратам последовательно-го планирования эксперимента / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, В.А. Дергачев // Автоматизация: проблемы, поиски, решения. Материалы междунауч.-техн. конф., 7-12 сентября 2009. – Севастополь: изд. Сев. НТУ, 2009. – С. 21-23.

4. Кошовий М.Д. Оптимальне планування експериментів при дослідженні переносних діелько-

метричних вологомірів / М.Д. Кошовий, О.В. Заболотний, О.М. Костенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 3. – С. 45-47.

5. Кошовий М.Д. Оптимальне планування експериментальних досліджень безконтактних вимірювачів постійного струму і густини струму / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 87. – С. 93-94.

6. Кошевой Н.Д. Оптимальное планирование экспериментов при моделировании расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, В.П. Сироклы // Автомобильный транспорт. – 2009. – № 25. – С. 123-126.

Поступила в редакцию 15.01. 2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГІЛОК І МЕЖ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОФАКТОРНИХ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

М.Д. Кошовий, О.Л. Бурлєєв, О.М. Костенко

Розроблено алгоритм оптимізації багатофакторних планів експерименту методом гілок і меж. Показана ефективність його застосування для дослідження безконтактних вимірювачів постійного струму і густини струму, системи витрати палива в двигунах внутрішнього згорання, технологічного процесу вимірювання площі металізації друкованих плат. Працездатність алгоритму підтверджується співпаданням оптимальних планів, які отримані цим методом і методом аналізу перестановок рядків матриці планування, для дослідження указаних приладів, систем і технологічних процесів. Співпадання справедливе для планів з кількістю факторів $k \leq 3$.

Ключові слова: ефективність, алгоритм, метод гілок і меж, планування експерименту, оптимальний план, вартість.

USING THE METHOD OF THE BRANCHES AND BORDERS FOR OPTIMIZATION OF MANY FACTORIAL EXPERIMENT'S PLANS

N.D. Koshevoy, O.L. Burleev, E.M. Kostenko

The algorithm of optimization of many factorial experiment's plans by method of the branches and borders was created. Its using efficiency at study of the noncontact meters of the direct current and density of the current, systems of the consumption fuel in engine of internal combustion, technological process of the measurement area of metallization in the printed plates was shown. Capacity of the algorithm was confirmed by coincidence optimum plan, got by this method and the method of the analysis of the lines of planning matrix transpositions, at study specified instrument, systems and technological processes. The coincidence is fair for plan with amount factor $k \leq 3$.

The key words: efficiency, algorithm, method of the branches and borders, the experiment planning, optimum plan, cost.

Кошевой Николай Дмитриевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: kafedraapi@rambler.ru.

Бурлєєв Олег Леонидович – магистр кафедры авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Костенко Елена Михайловна – канд. техн. наук, доцент, проректор по учебно-педагогической и инновационной работе, Полтавская государственная аграрная академия, Полтава, Украина, e-mail: kostenko@pdaa.com.ua.