

УДК 519.24:62-50

Н.Д. Кошевой, А.В. Бельмега, З.Э. Чистикова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОФАКТОРНЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработаны метод оптимизации многофакторных планов эксперимента с использованием алгоритма имитации отжига и реализующая его программа. Показана его эффективность в сравнении с другими методами оптимизации многофакторных планов эксперимента. Работоспособность подтверждается приближением оптимальных планов, полученных этим методом и методом перестановки строк матрицы планирования.

Ключевые слова: оптимизация, метод, алгоритм имитации отжига, планирование эксперимента, оптимальный план, временные затраты, быстроедействие.

Введение

Постановка задачи. При решении задач оптимизации и управления различными технологическими процессами возникает проблема получения их математических моделей. Планирование эксперимента ставит задачу получения математической модели при минимальных стоимостных и временных затратах. Эта задача особенно актуальна при исследовании дорогостоящих и длительных процессов. При синтезе плана эксперимента, количество факторов которого больше четырех, возникает еще и проблема длительности построения оптимального плана.

Цель статьи: Разработка метода и программного обеспечения для оптимизации многофакторных планов эксперимента с использованием алгоритма имитации отжига.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны примеры построения многофакторных планов, основанные на использовании следующих методов оптимизации:

- анализ перестановок [1],
- случайный поиск [1],
- жадный алгоритм [2].

Эффективность применения этих методов доказана при исследовании ряда различных объектов: технологических процессов, приборов, систем.

Но при большом количестве факторов для перебора всех возможных вариантов необходимо много времени. А при применении жадного алгоритма получается приближенный к оптимальному план эксперимента.

Ввиду этого целесообразно для сравнения результатов применить алгоритм имитации отжига. Также, на сегодняшний день, актуальной остается задача использования метода поиска оптимального плана эксперимента, обладающего более высокими показателями быстрогодействия.

Основные результаты исследований

Разработан метод и программное обеспечение оптимизации планов эксперимента по стоимостным или временным затратам с использованием алгоритма имитации отжига.

Сущность применения алгоритма имитации отжига, схема которого изображена на рис. 1, заключается в следующем.

Шаг 1. В начале работы алгоритма производится ввод количества факторов n .

Шаг 2. В зависимости от выбранного количества факторов осуществляется построение матрицы планирования эксперимента.

Шаг 3. Необходимо ввести значения стоимостей или затрат времени переходов между уровнями для каждого из факторов.

Шаг 4. Выполняется построение промежуточной матрицы-массива, в которой отображаются значения стоимостей или затрат времени при переходе с каждого опыта в любой другой опыт эксперимента.

Шаг 5. Вычисляются стоимостные или временные затраты при начальном плане эксперимента.

Шаг 6. Вычисление степени сканирования row по формуле: $row = 10^6 * \text{«степень»}$, где «степень» - введенное с клавиатуры число.

Шаг 7. Выполняется перебор перестановок, количество их должно быть меньше чем степень сканирования row .

Если количество перестановок меньше чем row , то выполняется шаг 8, а если нет, то выполняется шаг 15.

Шаг 8. Выполняется генерация двух чисел X , Y в случайном порядке. Числа генерируются в пределах от n до 2^n .

Шаг 9. На основе случайно сгенерированных чисел на шаге 8 выполняется перестановка в плане эксперимента опытов X , Y .

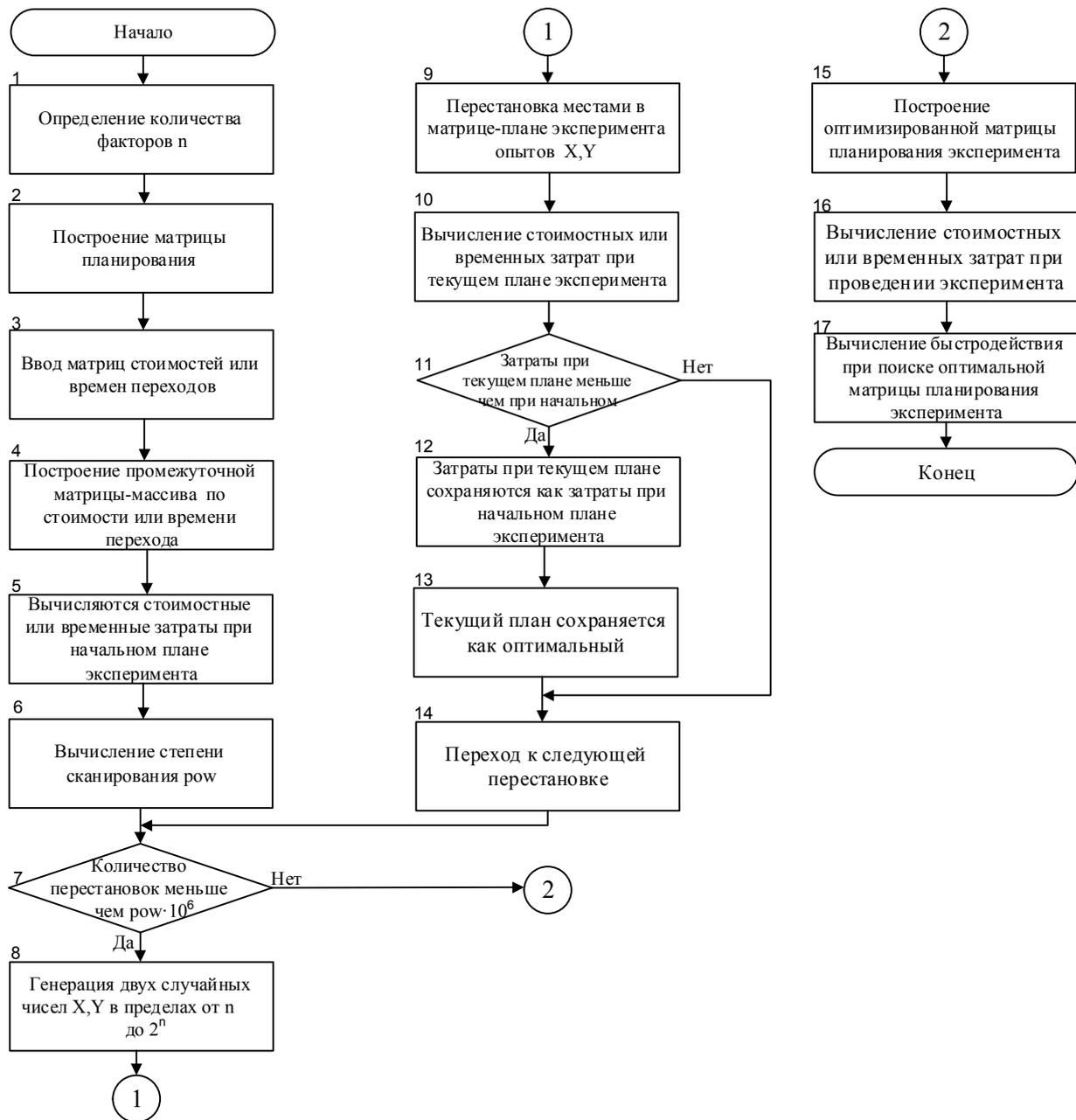


Рис. 1. Схема применения алгоритма имитации отжига для оптимизации многофакторных экспериментов

Шаг 10. После перестановки опытов в плане эксперимента вычисляются стоимостные или временные затраты при текущем плане эксперимента.

Шаг 11. После вычисления стоимостных или временных затрат при текущем плане эксперимента, они сравниваются с затратами при начальном плане эксперимента. Если эти затраты меньше чем при начальном плане, то выполняется шаг 12, а если нет, то выполняется шаг 14.

Шаг 12. На этом шаге затраты при текущем плане сохраняются как затраты при начальном плане эксперимента, то есть устанавливается новый стоимостный или временный минимум.

Шаг 13. План, стоимостной или временной минимум которого был установлен на шаге 12, сохраняется как оптимальный.

Шаг 14. Выполняется переход к следующей перестановке, то есть выполняется шаг 7.

Шаг 15. После всех перестановок будет получена оптимизированная матрица планирования, которая на данном шаге будет построена (основывается на том, что затраты при этом плане, будут минимальными среди всех ранее построенных планов).

Шаг 16. После построения оптимизированной матрицы производятся расчеты временных или стоимостных затрат при реализации данного оптимизированного плана эксперимента.

Шаг 17. Определяется время, затраченное при оптимизации плана эксперимента при применении алгоритма имитации отжига. Вычисляется как разность начального времени на шаге 1 и времени на шаге 17 (с точностью до 0,01 с).

Проверка работоспособности разработанного метода и программного обеспечения для оптимизации многофакторных планов эксперимента осуществлялась на ряде практических задач, решенных

методами анализа перестановок, случайного поиска и жадного алгоритма.

Сравнение этих результатов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение результатов оптимизации планов экспериментов различными методами на ряде практических задач

Объект исследования	Выигрыш в стоимостных или временных затратах					
	Метод перестановки	Начальный план	Жадный алгоритм	План максимальной стоимости	Случайный поиск	Имитация отжига
Оптимальные комбинаторные планы многофакторного эксперимента (n=4)	86,62	130,48	32,26	243	-	37,2
Агрегат судовой энергетической установки (n=3)	46,5	70	46,5	126	-	46,5
Обслуживание комплекса технических систем (n=5 (16 опытов))	1284,65	1728,1	540,04	2068,38	606,66	872,07
Весомизмерительная система (n=3)	102	164	108	278	-	102
Исследования вихретоковых измерителей толщины покрытий [3] (n=4)	112,85	204,5	50,5	255,3	101,8	61,55
Исследование процесса прессования корпуса катера из стеклопластика (n=5 (8 опытов))	219,5	331,5	242,5	470	-	216
Исследование устройства для контроля качества диэлектрических материалов (по энергопотреблению) (n=4)	24,9	30	20,8	89,8	30	24,3
Исследование устройства для контроля качества диэлектрических материалов (по точности) (n=4)	24,7	29,4	20,8	120,3	29,4	26,2
Исследование оптоволоконного преобразователя угла поворота в цифровой код (n=3)	53,9	69,9	42,7	-	-	42,4

При поиске оптимальных комбинаторных планов эксперимента (n=4) методом, основанным на применении алгоритма имитации отжига (со степенью поиска 2) было затрачено 0,422 секунды. Полученные результаты можно сравнить с ранее разработанными методами (жадный алгоритм – 0,24 секунды, метод перестановки – 17 секунд), сравнение результатов предоставлены на рис. 2.

В результате сравнения быстродействия различных методов оптимизации можно сделать вывод, что алгоритм имитации отжига работает приблизительно с таким же быстродействием, как и жадный

алгоритм. Это существенно меньше, чем при работе метода перестановки.

Но следует не забывать, что при увеличении количества факторов быстродействие будет уменьшаться.

Также при использовании алгоритма имитации отжига степень сканирования прямо пропорционально влияет на быстродействие программного обеспечения.

То есть, при увеличении степени сканирования на единицу быстродействие уменьшится в два раза.



Рис. 2. Сравнение быстродействия при использовании различных методов оптимизации

Выводы

Разработан метод и программное обеспечение, реализующие оптимизацию многофакторных планов экспериментов с применением алгоритма имитации отжига. Доказана работоспособность и эффективность метода при исследовании технологических процессов, приборов и систем.

Поиск оптимального или близкого к оптимальному плана, полученного этим методом, реализуется за существенно меньшее время счёта, чем при методе полной перестановки строк матрицы планирования. Применение алгоритма имитации отжига дает результаты близкие к результатам полученных жадным алгоритмом, в некоторых случаях дает лучшие результаты.

Применение метода, основанного на использовании алгоритма имитации отжига, эффективно при количестве факторов $2 < n < 5$. Особенно этот алгоритм эффективен при небольшом количестве факторов, так как в этом случае он дает оптимальный вариант при большом быстродействии.

Недостатком применения данного алгоритма, есть то, что при одних и тех же данных результаты оптимизации могут быть разными. Это связано с тем, что в алгоритме используется случайная генерация двух чисел X, Y . Данные числа могут отличаться от чисел, сгенерированных при первоначаль-

ной работе алгоритма, что напрямую повлияет на результат оптимизации.

Несмотря на недостатки данного алгоритма, его использование будет эффективным так как, при большом быстродействии программа выдаст результат, приближенный к оптимальному плану, а при количестве факторов $n \leq 3$, результат будет оптимальным.

Список литературы

1. Кошевой Н.Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко. – Полтава: издатель Шевченко Р.В., 2013. – 317 с.
2. Кошевой Н.Д. Применение жадного алгоритма для оптимизации многофакторных экспериментов / Н.Д. Кошевой, А.В. Бельмега // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2014. – Вип. 47. – С. 29-37.
3. Оптимізація вихретокових преобразователей / Н.Д. Кошевой, М.В. Цеховской, В.А. Дергачев, А.Н. Кухар // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – X. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2006. – Вып. 33. – С. 66–69.

Поступила в редколлегию 2.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Л. Угрюмов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ІМІТАЦІЇ ВІДПАЛУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОФАКТОРНИХ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

М.Д. Кошовий, А.В. Бельмега, З.Е. Чистікова

Розроблено метод оптимізації багатofакторних планів експерименту за допомогою алгоритму імітації відпалу і програму, що його реалізує. Показана його ефективність в порівнянні з другими методами оптимізації для багатofакторних планів експерименту. Працездатність підтверджується наблизенням або збігом оптимальних планів, отриманих цим методом і методом перестановки рядків матриці планування.

Ключові слова: оптимізація, метод, алгоритм імітації відпалу, планування експерименту, оптимальний план, часові витрати, швидкодія.

APPLICATION OF ALGORITHM OF IMITATION OF ANNEALING FOR OPTIMIZATION OF MULTIPLE-FACTOR PLANS OF EXPERIMENT

N.D. Koshevoy, A.V. Belmeha, Z.E. Chystikova

The program and method of optimization of the multifactor experimental designs by means algorithm of imitation of annealing are developed. Its effectiveness in comparison with other methods of optimization for multifactor experimental designs is shown. The efficiency is confirmed by the approach or coincidence of optimal designs obtained by this method and the method of row permutation of planning matrix.

Keywords: optimization, method, algorithm of imitation of annealing, design of experiments, the optimal design, time cost, speed.