

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С ВВЕДЕНИЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ

*Н.Д. Кошевой**, д-р техн. наук, профессор;

*О.Л. Бурл в**, аспирант;

*Е.М. Костенко***, канд. техн. наук, доцент,

**Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«ХАИ», г. Харьков;*

***Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава*

Разработан алгоритм оптимизации многофакторных планов эксперимента методом ветвей и границ с введением ограничения по дополнительному критерию. Предусмотрена ситуация, когда значение дополнительного критерия оптимального плана эксперимента будет превышать указанное ограничение. В этом случае находятся два альтернативных плана: с минимальным значением первого критерия; с минимальным значением дополнительного критерия ограничения.

Ключевые слова: алгоритм, оптимизация, эксперимент, стоимость, метод ветвей и границ.

Розроблено алгоритм оптимізації багатофакторних планів експерименту методом гілок та меж з введенням обмеження за додатковим критерієм. Передбачена ситуація, коли значення додаткового критерію оптимального плану експерименту буде перевищувати вказане обмеження. У цьому випадку знаходяться два альтернативні плани: з мінімальним значенням першого критерію; з мінімальним значенням додаткового критерію обмеження. Робота алгоритму перевірена на прикладі дослідження процесу приготування попкорну.

Ключові слова: алгоритм, оптимізація, експеримент, вартість, метод гілок та меж.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимальное планирование эксперимента предполагает наличие критерия, по которому будет оптимизирован исходный план исследования. Зачастую таким критерием является стоимость или время, так как большинство проводимых экспериментов является длительными и дорогостоящими. Однако в действительности любая задача оптимизации многокритериальная. Поэтому, чтобы более адекватно отобразить этот процесс, целесообразно ввести дополнительный критерий ограничения. Особенно это актуально в условиях рыночной конкуренции, когда каждое предприятие стремится провести исследование с минимальными затратами без превышения срока, выделенного на его осуществление.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны методы синтеза оптимальных по стоимостным и временным затратам планов эксперимента [1-2], основанные на использовании следующих видов оптимизации: анализ перестановок, метод ветвей и границ. В работе [3] доказано, что синтез оптимальных планов для количества факторов $k > 3$ целесообразно осуществлять методом ветвей и границ, а при количестве факторов $k \leq 3$ оптимальные планы, полученные методом ветвей и границ и методом анализа перестановок строк матрицы планирования, совпадают. Таким образом, принято решение, чтобы разработанный метод с введением ограничения по дополнительному критерию базировался на методе ветвей и границ.

Цель работы: разработать алгоритм оптимизации многофакторных планов эксперимента методом ветвей и границ с учетом ограничения по дополнительному критерию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для дорогостоящих экспериментов в качестве критерия оптимизации выбирается суммарная стоимость проведения эксперимента:

$$S_0 = \sum_{i=1}^k V_i^{a_{i,1}} + \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^k S_{i,j}^{a_{i,j-1}, a_{i,j}} + \sum_{i=1}^k V_i^{a_{i,n}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где k – количество факторов; n – количество опытов; $a_{i,j}$ – значение i -го фактора в j -м опыте; $V_i^{a_{i,1}}$ – стоимость установки i -го фактора в состояние $a_{i,1}$ в первом опыте; $V_i^{a_{i,n}}$ – стоимость установки i -го фактора в исходное состояние $a_{i,n}$ в последнем опыте; $S_{i,j}^{a_{i,j-1}, a_{i,j}}$ – стоимость установки i -го фактора в j -м опыте.

При исследовании длительных процессов целесообразно в качестве критерия оптимизации выбирать суммарное время проведения эксперимента:

$$t_0 = \sum_{i=1}^k T_i^{a_{i,1}} + \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^k t_{i,j}^{a_{i,j-1}, a_{i,j}} + \sum_{i=1}^k T_i^{a_{i,n}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $T_i^{a_{i,1}}$ – время установки i -го фактора в состояние $a_{i,1}$ в первом опыте; $T_i^{a_{i,n}}$ – время установки i -го фактора в исходное состояние $a_{i,n}$ в последнем опыте; $t_{i,j}^{a_{i,j-1}, a_{i,j}}$ – время установки i -го фактора в j -м опыте.

Используя метод ветвей и границ для разработки алгоритма оптимизации планов многофакторных экспериментов, в качестве критерия оптимизации будет использоваться критерий (1) с ограничением на суммарное время проведения эксперимента t_0 , хотя и аналогично этому можно использовать критерий (2) с ограничением на суммарную стоимость проведения эксперимента S_0 , т.е.

$$S_0 \rightarrow \min \text{ при } t_0 \leq t_{\text{огр}}; \quad t_0 \rightarrow \min \text{ при } S_0 \leq S_{\text{огр}}. \quad (3)$$

Сущность алгоритма, схема которого приведена на рисунке 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 значений уровней факторов, матрица значений времен при переходе уровней факторов, установленное ограничение на время проведения эксперимента.

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.

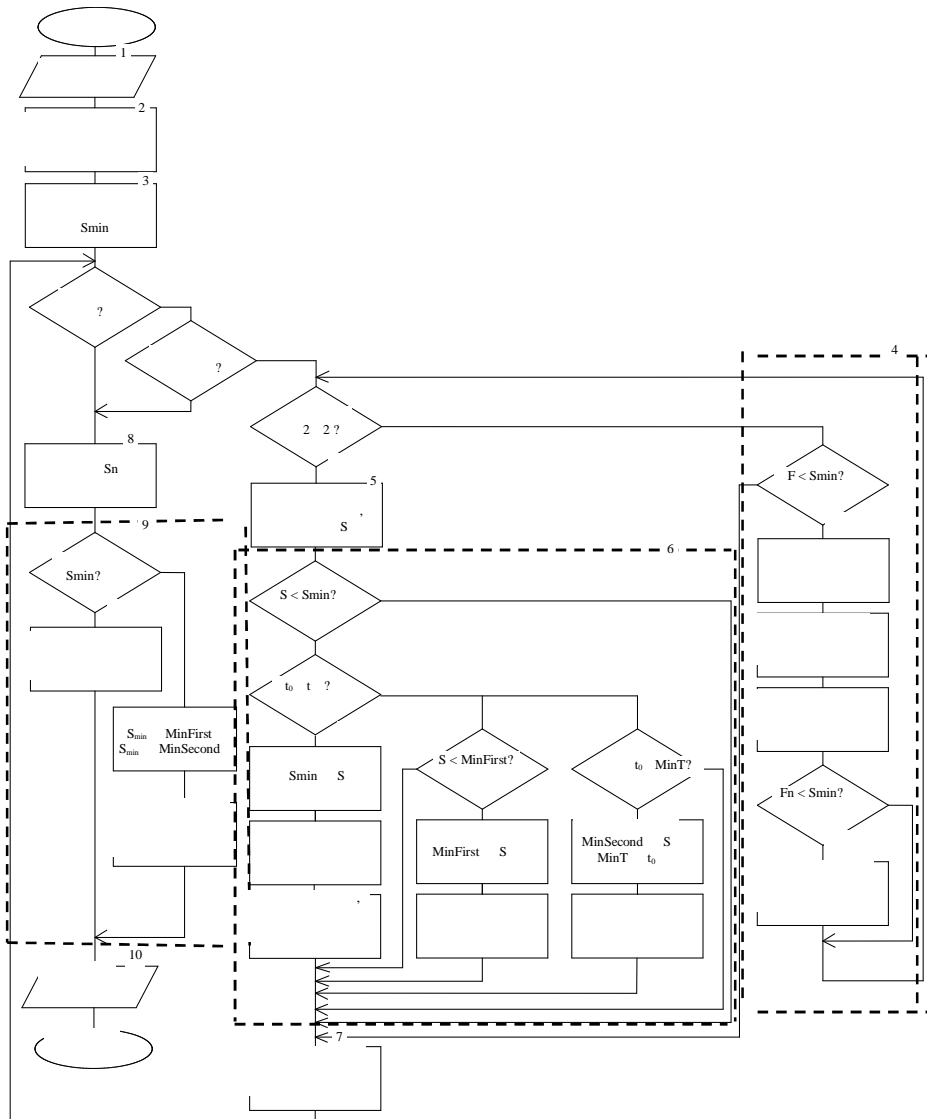


Рисунок 1 - Схема алгоритма ветвей и границ с введением ограничения по дополнительному критерию

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

Этап 6. Далее происходит сравнение стоимости полученного плана S с найденной ранее S_{\min} . Если она меньше минимальной рекордной стоимости, то осуществляется проверка по времени реализации. В том случае, если текущее значение времени t_0 меньше установленного ограничения по этому критерию $t_{огр}$, то полученное значение S становится S_{\min} . Если же t_0 превышает значение ограничения $t_{огр}$, то происходит формирование двух альтернативных вариантов получения оптимальных планов эксперимента по каждому критерию в отдельности – с минимальной стоимостью *MinFirst* и с минимальным значением критерия времени *MinSecond*. Альтернативные оптимальные планы запоминаются. При этом осуществляется проверка списка неразработанных вершин по основному условию. Все вершины, которые не удовлетворяют этому условию, исключаются из списка.

Этап 7. Выполняется выбор из списка неразработанных вершин вершины с минимальным значением границы. Выход из основного цикла осуществляется при опустошении списка неразработанных вершин, а также при превышении лимита выделенной для списка памяти.

Этап 8. После выхода из основного цикла осуществляется вычисление стоимости исходного плана.

Этап 9. Если значение S_{\min} найдено, то определяется выигрыш по стоимости (основному критерию) при реализации оптимального плана, не превышающего установленного ограничения по времени (дополнительному критерию). Если же S_{\min} не определено, то находятся выигрыши по основному критерию для альтернативных планов.

Этап 10. Выводятся следующие результаты счета: оптимальный план; стоимости исходного и оптимального планов; выигрыш по стоимости при реализации оптимального плана эксперимента; значение дополнительного критерия для оптимального плана и значение установленного ограничения по дополнительному критерию.

Выводы. Таким образом, разработан алгоритм оптимизации многофакторных планов эксперимента методом ветвей и границ с введением ограничения по дополнительному критерию. Он позволяет учитывать критерий ограничения, которое накладывается, например, на временную реализацию построенного плана многофакторного эксперимента, либо на величину стоимости плана. Реализация представленного алгоритма позволяет находить два альтернативных плана: с минимальным значением первого критерия; с минимальным значением дополнительного критерия ограничения.

SUMMARY

OPTIMUM PLANNING OF EXPERIMENT WITH IMPOSING RESTRICTION ON ADDITIONAL CRITERION

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

*NASU «KHAІ», *Kharkov*, E-mail: kafedraapi@rambler.ru, burleev@rambler.ru

**PSAA, *Poltava*, E-mail: kostenko@pdaa.com.ua

The algorithm of optimization of multivariable plans of experiment with the help of branches and bounds method is developed with imposing restriction on an additional criterion. A situation is forecasted, when the value of additional criterion of optimum plan of experiment will exceed the indicated limitation. In this case there are two alternative plans: with the minimum value of the first criteria; with the minimum value of additional criterion of limitation.

Key words: *algorithm, optimization, experiment, coast, branch and bound method.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

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.: В КНУ, 2009. – Вип. 19. – С.44-48.
2. Кошевой Н.Д. Применение метода ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Рад електронних комп'ютерних систем. – 2010. – 1(42). С. 67-70.
3. Кошевой Н.Д. Сравнительный анализ методов оптимизации многофакторных планов экспериментов / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // АСУ и приборы автоматизации. – 2010. – Вып.150. – С. 60-64.

Поступила в редакцию 18 октября 2010 г.