

УДК 519.24:62-50

Кошевой Н. Д.<sup>1</sup>, Сухобрус Е. А.<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

*<sup>2</sup> Аспирант Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПЛАНОВ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

---

Предложен метод поиска оптимального или близкого к оптимальному по стоимости реализации многоуровневого плана многофакторного эксперимента. Для автоматизации процесса поиска с использованием предложенного метода разработано программное обеспечение. Проведен сравнительный анализ разработанного программного обеспечения с программой поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента, реализующей метод генерации перестановок с минимальным числом транспозиций соседних элементов.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, симплекс-метод, быстродействие.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изменение порядка проведения опытов существенно влияет на стоимость реализации эксперимента. При

увеличении количества рассматриваемых вариантов усложняется поиск плана с наименьшей стоимостью. Трудность поиска вызвана быстрым ростом вариантов пе-

рестановок в зависимости от количества факторов и уровней. В связи с этим актуальной является проблема проведения анализа многоуровневых планов многофакторного эксперимента в оптимальные временные промежутки.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известна программа поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента [1]. В основе работы программы лежит генерация комбинаторных планов многофакторного эксперимента, оценка их характеристик, отбор оптимального по стоимости варианта. Программа реализована на языке «Turbo Pascal». Предусмотрено два режима поиска оптимального решения: случайный поиск и последовательная генерация возможных вариантов перестановок. Количество рассматриваемых вариантов может быть задано, а процесс поиска может быть прерван.

Схема алгоритма программы поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента представлена на рис. 1. Алгоритм работы программного обеспечения следующий.

1. Осуществляется ввод имени файла исходных данных, содержащего информацию о количестве анализируемых факторов, матрицу исходного плана эксперимента и стоимости изменений значений факторов. Производится чтение исходных данных.

2. Выбирается режим поиска: случайный поиск или анализ перестановок.

3. Производится выбор количества анализируемых вариантов путем введения заданного количества  $N$  или введения «0». В последнем случае процесс поиска может быть прерван при нажатии клавиши «ESC».

4. Рассчитывается стоимость исходной матрицы планирования эксперимента.

5. Осуществляется генерация перестановок строк исходной матрицы. В режиме случайного поиска генерация производится с использованием функции Randomize. В режиме анализа перестановок используется алгоритм генерации перестановок с минимальным числом транспозиций соседних элементов.

6. Производится расчет стоимости полученной матрицы и последующее сравнение её со стоимостью исходной матрицы. Если полученное значение стоимости меньше, чем стоимость исходной матрицы, то оно признается оптимальным. В противном случае полученное значение стоимости признается максимальным.

7. Производится сравнение количества проанализированных вариантов с заданным количеством  $N$ . Если заданное количество анализируемых вариантов достигнуто или произошло прерывание процесса поиска при нажатии клавиши «ESC», то осуществляется создание файла результата и переход к окончанию процесса поиска. В противном случае происходит переход к этапу 5 и повторяется аналогичная процедура.

Основным недостатком данной программы является необходимость анализа большого количества вариантов

перестановок и, следовательно, снижение быстродействия процесса поиска при увеличении количества уровней факторов.

### ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Разработка метода поиска, оптимизированного по стоимости реализации, многоуровневого плана многофакторного эксперимента, позволяющего проводить поиск без полного перебора всех вариантов перестановок, и программы для реализации метода, обеспечивающего сокращение времени вычислений на ЭВМ.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предложен метод поиска на основе симплекс-метода, позволяющий получать оптимальные и близкие к оптимальным по стоимости реализации многоуровневые планы многофакторного эксперимента. Суть метода заключается в том, что многофакторный план представляется в виде выпуклого многогранника в многомерном пространстве, вершины которого соответствуют значениям уровней факторов плана. Поиск оптимального по стоимости реализации многоуровневого плана многофакторного эксперимента с использованием предложенного метода осуществляется в следующем порядке.

1. В качестве первой строки плана выбирается та, переход на которую максимален по стоимости.

2. Осуществляется поиск минимального по стоимости перемещения уровня фактора. В случае наличия нескольких равноценных по стоимости перемещения уровней факторов, выбирается первый из них по порядковому номеру.

3. Выполняется проверка: приводит ли перемещение уровня фактора, определенного на шаге 2, к появлению повторяющейся строки. Если полученная строка не встречалась ранее, то она записывается в выходную матрицу планирования. Если полученная строка уже встречалась, то перемещается следующий по возрастанию стоимости перемещения уровень фактора или, в случае наличия равноценных по стоимости перемещения уровней факторов, следующий по порядковому номеру.

4. Производится циклический повтор шагов 2 и 3 до тех пор, пока не будет получено требуемое количество строк матрицы планирования. В случае, если все строки, в которые возможно осуществить переход, уже повторялись, а требуемое количество строк матрицы планирования не достигнуто, осуществляется возврат к строке, содержащей равноценные по стоимости перемещения уровни факторов, и перемещается следующий по порядковому номеру уровень фактора.

Для автоматизации процесса поиска с использованием предложенного метода разработано программное обеспечение, позволяющее получать оптимальные или близкие к оптимальным по стоимости реализации многоуровневые планы многофакторного эксперимента без необходимости перебора всех вариантов перестановок, что позволяет значительно сократить время поиска. Схема алгоритма поиска оптимального плана эксперимента на основе симплекс-метода представлена на рис. 2.

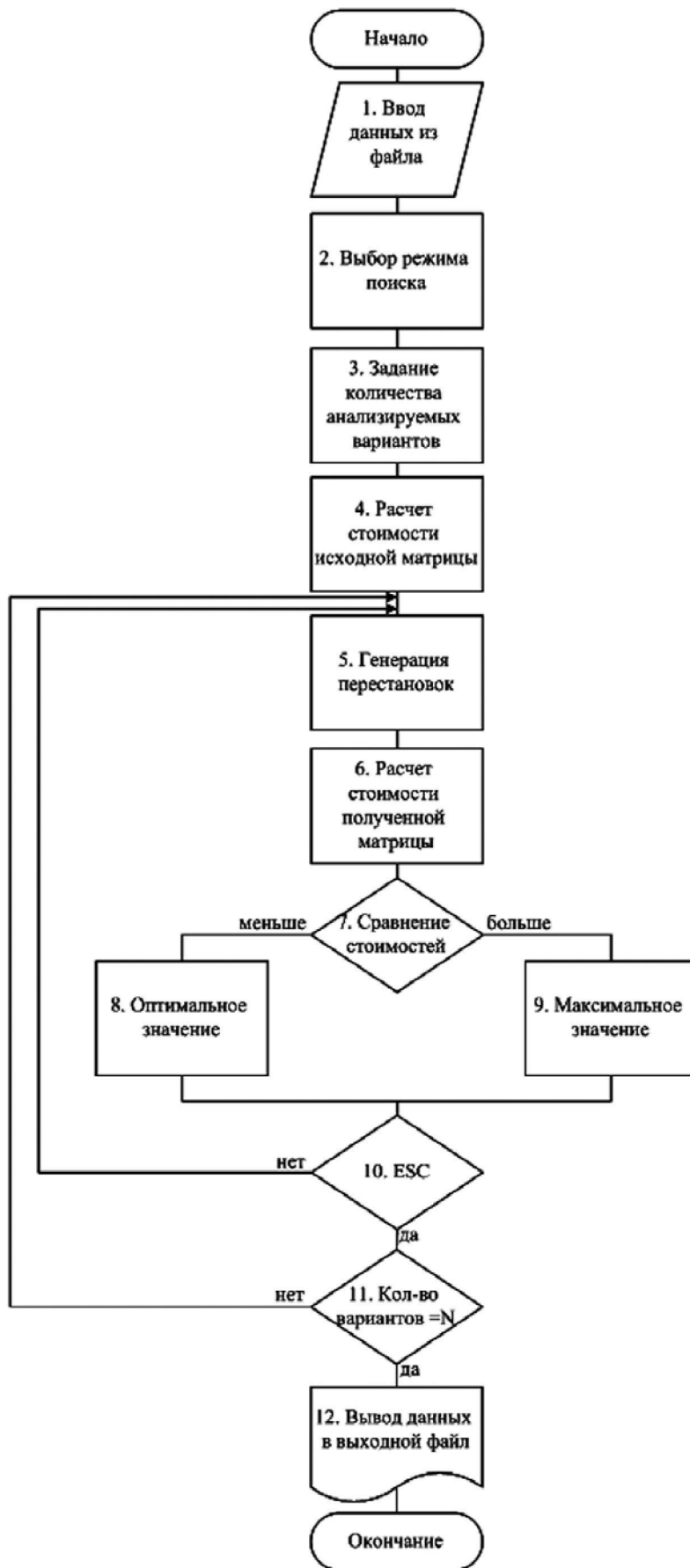


Рис. 1. Схема алгоритма работы известного программного обеспечения

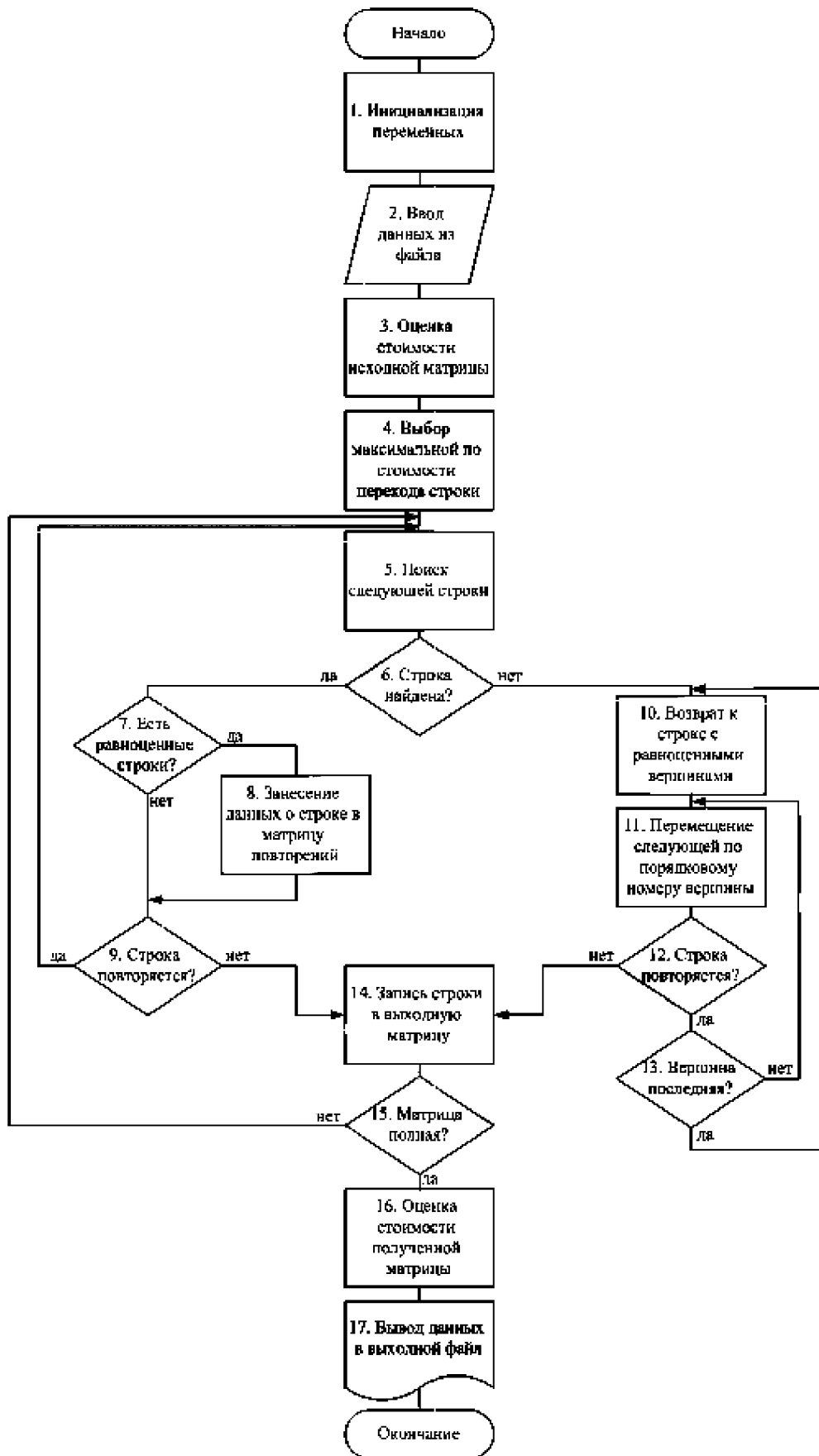


Рис. 2. Схема алгоритма поиска оптимального плана эксперимента на основе симплекс-метода

Был проведен сравнительный анализ разработанного программного обеспечения с известной программой поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента. Объектом сравнения являлся процесс оптимизации многоуровневых планов многофакторного эксперимента для количества факторов  $k=3$  с количеством уровней факторов от 2 до 8. Сравнительный анализ производился по следующим функциональным параметрам оптимизации: полученное оптимальное или близкое к оптимальному значение стоимости реализации плана эксперимента, количество рассмотренных вариантов перестановок, время счета программы, выигрыш по стоимости реализации плана эксперимента, определяемый как отношение стоимостей реализации исходного и полученного планов эксперимента. Результат проведенного сравнительного анализа представлен в табл. 1.

Для известной программы поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента при оптимизации многоуровневых планов с количеством уровней факторов от 3 до 8 были введены ограничения на количество рассмотренных вариантов перестановок в связи с большими временными затратами на проведение процесса поиска.

На основании представленных данных, видно, что разработанное программное обеспечение позволяет получить значительный выигрыш по стоимостным и временным характеристикам при оптимизации многоуровневых планов многофакторного эксперимента.

Динамика изменения количества рассматриваемых вариантов перестановок при увеличении количества уровней факторов для анализируемых программ представлена на рис. 3.

Таблица 1. Сравнительный анализ разработанной и известной программ

Кол-во уровней факторов	Стоимость реализации исходной матрицы, усл.ед.	Программа поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента				Разработанное программное обеспечение			
		оптимальная стоимость, усл.ед.	количество рассмотренных вариантов, шт.	время счета, сек.	выигрыш по стоимости реализации	оптимальная стоимость, усл.ед.	количество рассмотренных вариантов, шт.	время счета, сек.	выигрыш по стоимости реализации
2	18	9	40320	1	2,0000	9	8	< 0,01	2,0000
3	126	106	1000000	69	1,1887	39	27	< 0,01	3,2307
4	235	220	500000	1825	1,0682	69	64	< 0,01	3,4058
5	529	517	500000	5572	1,0232	148	125	0,25	3,5743
6	682	671	500000	6470	1,0164	242	216	0,12	2,8182
7	2074	2053	500000	6538	1,0102	411	343	0,87	5,0462
8	2124	2109	500000	6673	1,0071	594	512	1,33	3,5758

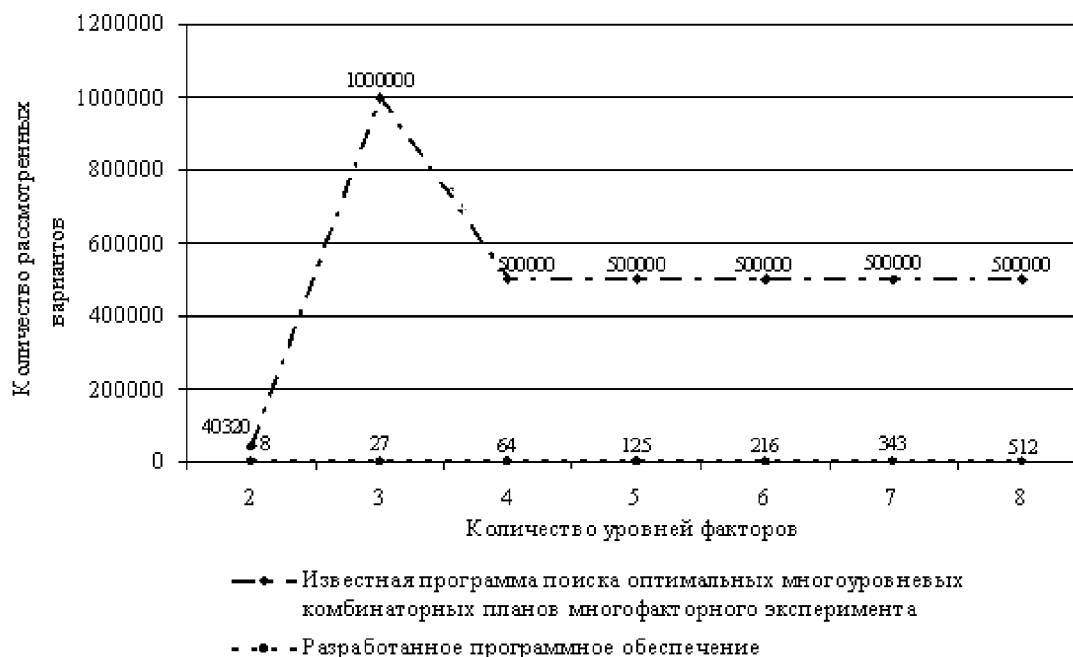


Рис. 3. Зависимость количества рассматриваемых вариантов от количества уровней факторов

Из рис. 3 видно, что для известной программы поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента характерно резкое возрастание количества рассматриваемых вариантов перестановок с увеличением количества уровней факторов. В то время, как разработанное программное обеспечение позволяет производить поиск оптимального или близкого к оптимальному по стоимости реализации плана эксперимента без полного перебора всех вариантов перестановок.

Зависимость быстродействия сравниваемых программ от количества уровней факторов представлена на рис. 4.

Видно, что для этих программ показатели быстродействия при реализации планов эксперимента, факторы ко-

торых варьируются на 2 или 3 уровнях, сходны. При дальнейшем увеличении количества уровней факторов происходит значительное увеличение времени счета известной программой поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента.

Выигрыш по стоимости реализации плана эксперимента в зависимости от количества уровней факторов для анализируемых программ представлен на рис. 5. Показано, что разработанное программное обеспечение имеет более высокий показатель выигрыша по стоимости реализации по сравнению с известной программой поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента.

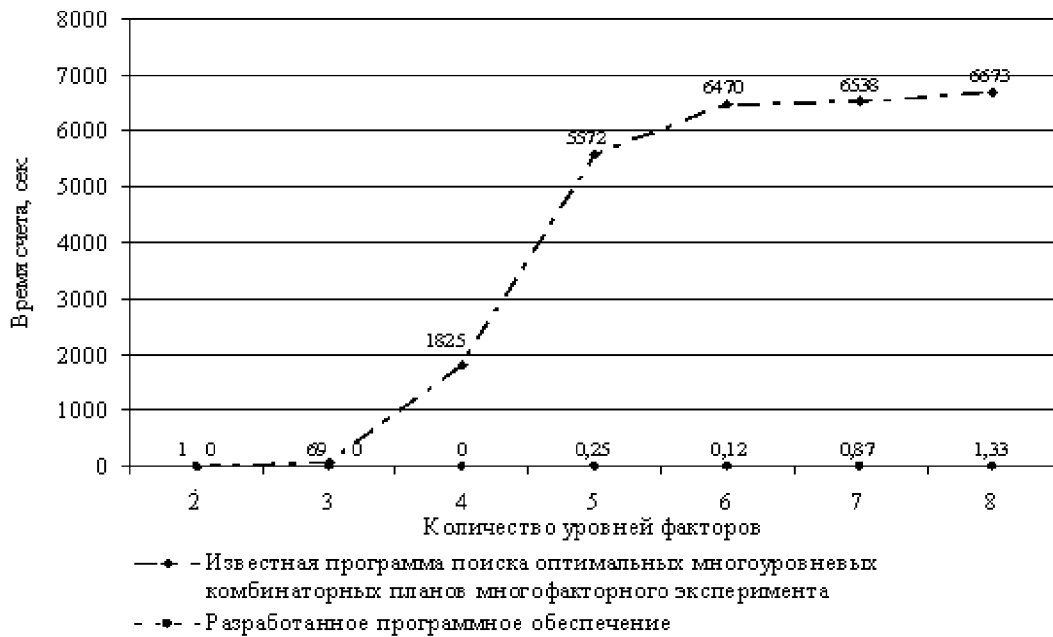


Рис. 4. Зависимость времени счета от количества уровней факторов

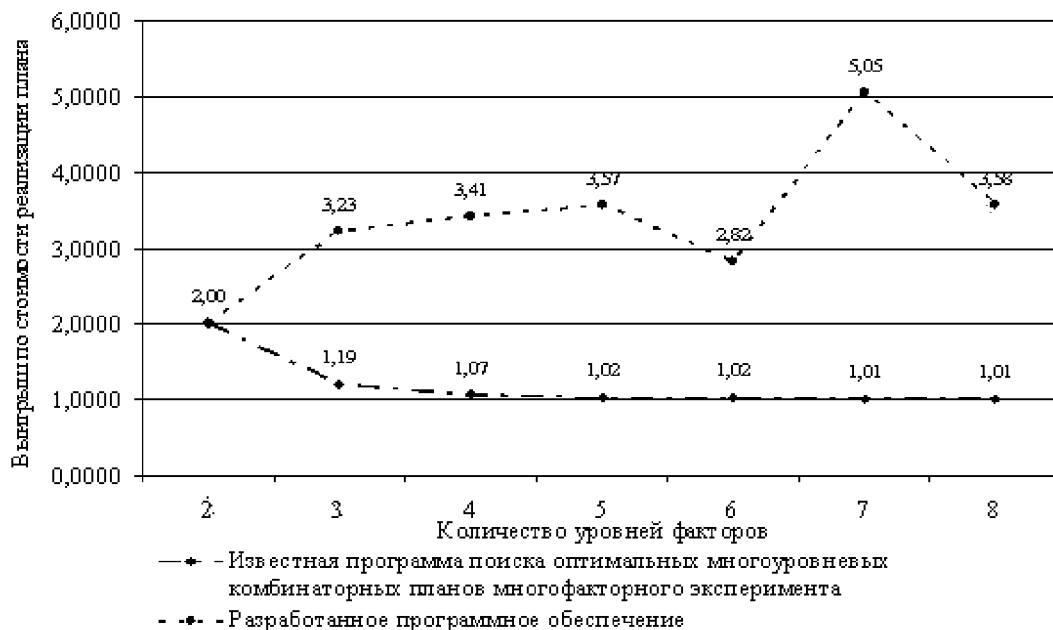


Рис. 5. Зависимость выигрыша по стоимости реализации плана эксперимента от количества уровней факторов

## ВЫВОДЫ

Предложен метод поиска оптимального или близкого к оптимальному по стоимости реализации многоуровневого плана многофакторного эксперимента, позволяющий получать такие планы без необходимости перебора всех вариантов перестановок, что дает возможность значительно сократить время поиска. Для автоматизации процесса поиска с использованием предложенного метода разработано программное обеспечение.

Проведен сравнительный анализ разработанного программного обеспечения с известной программой поиска оптимальных многоуровневых комбинаторных планов многофакторного эксперимента. Показано, что разработанное программное обеспечение позволяет получать значительный выигрыш по стоимостным и временным характеристикам при оптимизации многоуровневых планов многофакторного эксперимента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошовий, М. Д. Комп'ютерна програма «Програма пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів багаторівневого експерименту» / М. Д. Кошовий, О. М. Костенко, В. А. Дергачов. – Зареєстр. в Держ. департамент інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України; Реєстр. 28.01.2010, Свід. про реєстр. автор. права на твір № 31824

Стаття надійшла до редакції 09.02.2012.

Кошовий М. Д., Сухобрус О. А.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВИХ ПЛАНІВ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Запропоновано метод пошуку оптимального або близького до оптимального за вартістю реалізації багаторівневого плану багаторівневого експерименту. Для автоматизації процесу пошуку з використанням запропонованого методу розроблено програмне забезпечення. Проведено порівняльний аналіз розробленого програмного забезпечення з програмою пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів багаторівневого експерименту, яка реалізує метод генерації перестановок з мінімальним числом транспозицій сусідніх елементів.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, симплекс-метод, швидкодія.

Koshevoy N. D., Sukhobrus E. A.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS OF MULTILEVEL MULTIFACTOR EXPERIMENT PLANS

A method for finding the optimal or close to the optimum implementation value of a multi-level multifactorial experiment plan are proposed. To automate the search process using the proposed method, the software was developed. A comparative analysis of the developed software with multi-level program for finding the optimal combinatorial plans of multifactor experiment, which implements the generating permutations method with a minimal number of adjacent elements transpositions are implemented.

**Key words:** software, simplex method, speed.