

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СТОИМОСТНЫМ (ВРЕМЕННЫМ) ЗАТРАТАМ ПЛАНОВ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведен сравнительный анализ модифицированных и примененных для синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам планов многофакторных экспериментов таких методов дискретной оптимизации, как анализ перестановок (полный перебор), случайный поиск, метод ветвей и границ, последовательного приближения, симплекс-метод, муравьиные алгоритмы, метод имитации отжига, жадный алгоритм, ближайшего соседа, генетические алгоритмы, табу-поиск, метод вложенных разбиений, а также разработанных методов: символьных последовательностей, комбинаторно-графовый метод, методы синтеза оптимальных планов дробного и полного факторных экспериментов, основанные на применении кода Грея, метод итерационного планирования для оптимизации композиционных планов. Приведен перечень программ, реализующих эти методы синтеза, и перечень реальных объектов, на которых апробированы программы. Выданы рекомендации по применению методов синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам планов многофакторных экспериментов.

Ключевые слова: анализ, метод, алгоритм, оптимальный план, стоимость, время.

Постановка задачи. Для синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам модифицированы и применены следующие методы дискретной оптимизации: анализ перестановок (полный перебор), случайный поиск, метод ветвей и границ, последовательного приближения, симплекс-метод, муравьиные алгоритмы, метод имитация отжига, жадный алгоритм, ближайшего соседа, генетические алгоритмы, табу-поиск, метод вложенных разбиений (рис. 1).



Рис. 1. Методы оптимального по стоимостным (временным)

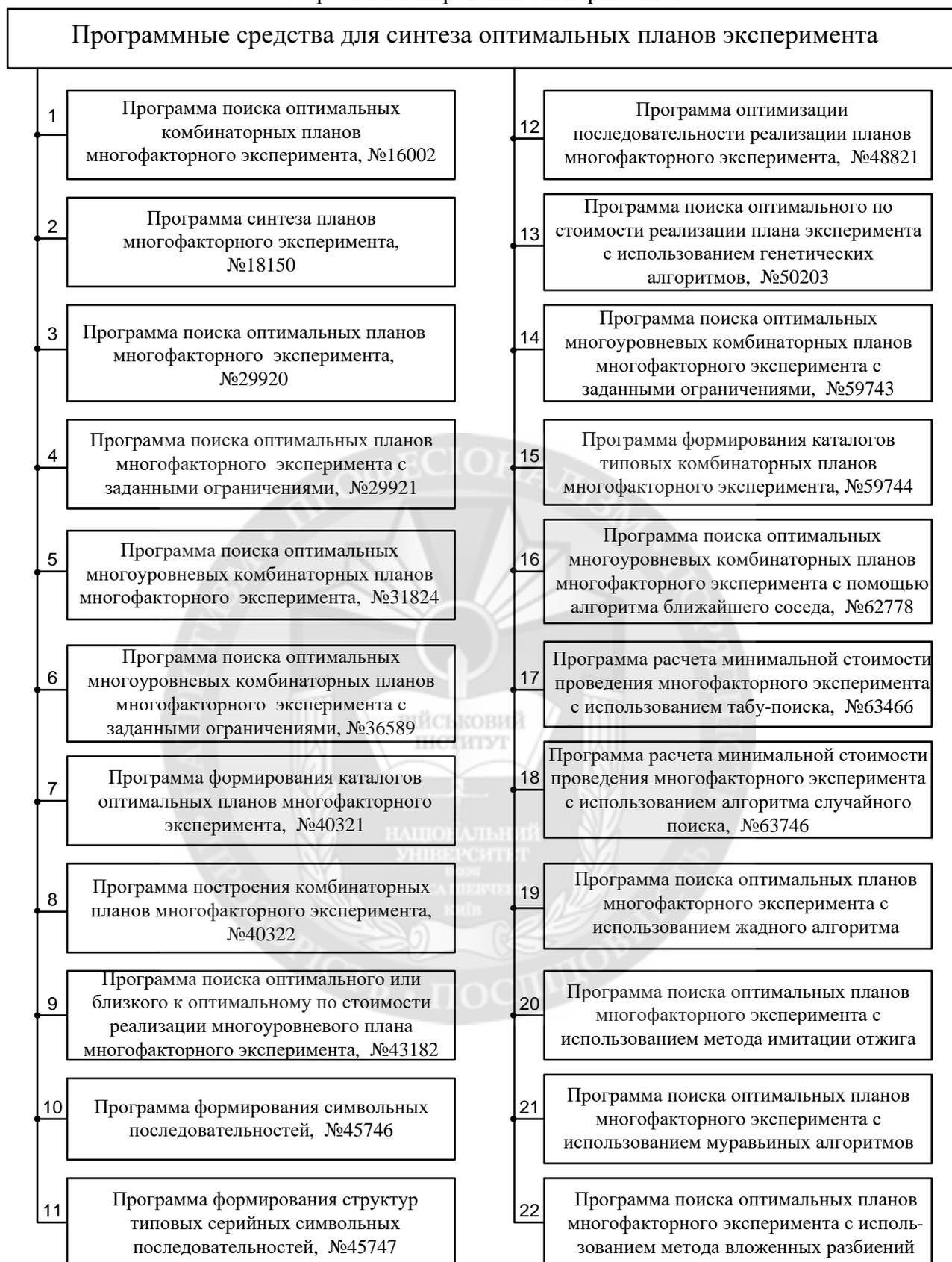


Рис. 2. Программное обеспечение для синтеза оптимальных планов эксперимента

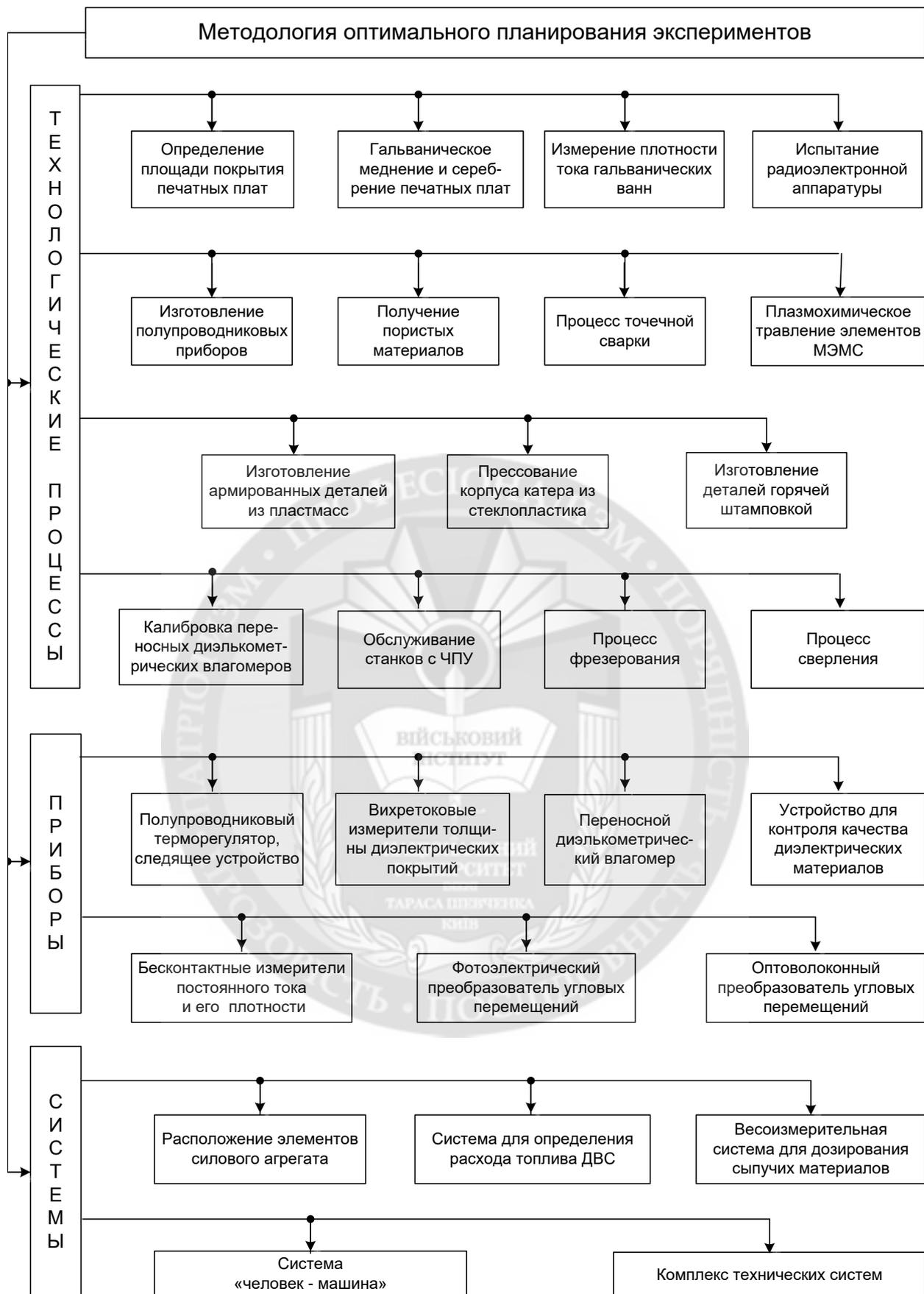


Рис. 3. Перечень объектов, на которых апробировалась методология оптимального планирования экспериментов

Задача оптимизации комбинаторных планов МФЭ имеет определенную специфику, и для ее решения были разработаны следующие методы: символьных последовательностей, комбинаторно-графовый метод, методы синтеза оптимальных планов дробного факторного эксперимента (ДФЭ) и полного факторного эксперимента (ПФЭ), основанные на применении кода Грея, метод итерационного планирования для оптимизации композиционных планов (см. рис. 1).

Перечисленным методам присущи как достоинства, так и недостатки. Для их практического применения целесообразно провести сравнительный анализ по критериям величины выигрыша по стоимости (времени) реализации плана эксперимента и быстродействия решения задачи синтеза.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны некоторые примеры проведения сравнительного анализа методов оптимизации планов многофакторных экспериментов [1,2]. Недостатком этих исследований является ограниченный перечень сравниваемых методов оптимизации: анализ перестановок, случайный поиск, метод ветвей и границ, метод последовательных приближений.

Цель статьи. Выполнить сравнительный анализ методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов многофакторных экспериментов, перечисленных в постановке задачи.

Основные материалы исследования. Для реализации и сравнения указанных методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов многофакторных экспериментов было разработано программное обеспечение. Перечень созданных программ представлен на рис. 2.

Для оценки эффективности применения указанных методов проведены исследования на ряде объектов, перечень которых представлен на рис. 3.

По результатам указанных исследований можно сделать следующие рекомендации.

1. К методам, которые позволяют получить оптимальные по стоимостным (временным) затратам планы многофакторных экспериментов, можно отнести: полный перебор, метод символьных последовательностей, комбинаторно-графовый метод, методы, основанные на применении кода Грея. При этом полный перебор для любых видов эксперимента позволяет получить оптимальное решение, однако его целесообразно применять для планов с количеством факторов $k \leq 3$, так как при большем k значительно увеличивается число перестановок и временные затраты на поиск, а при современном уровне вычислительной техники эту задачу не всегда можно решить.

Метод символьных последовательностей дает точное решение при оптимизации только планов ПФЭ с количеством факторов $k \leq 3$.

Комбинаторно-графовый метод позволяет синтезировать оптимальные по стоимостным (временным) затратам планы только полного факторного эксперимента с количеством факторов $k \leq 4$.

Методы, основанные на применении кода Грея, позволяют строить оптимальные по стоимостным (временным) затратам планы дробного и полного факторных экспериментов для любого количества факторов.

2. К методам, которые позволяют получить оптимальные или близкие к оптимальным планы многофакторных экспериментов, следует отнести: анализ перестановок (ограниченный перебор), случайный поиск, методы ветвей и границ, последовательного приближения, итерационного планирования эксперимента, имитации отжига, вложенных разбиений, симплекс-метод, муравьиные алгоритмы, жадный алгоритм, ближайшего соседа, генетические алгоритмы, табу-поиск.

Характерными особенностями этих методов являются следующие: применимы для любых видов эксперимента; количество факторов, для которых возможно применение метода, ограничено только вычислительными возможностями ЭВМ; при получении лучшего из рассмотренных вариантов (близкое к минимальному по стоимости (времени)

реализации) степень «близости» оценить нельзя; невозможно создание каталогов типовых решений.

3. В результате проведенных исследований [3], в которых для оптимизации по стоимостным(временным) затратам планов многофакторных экспериментов использовались такие методы, как анализ перестановок (ограниченный перебор), случайный поиск, методы последовательного приближения и ветвей и границ, наибольшие выигрыши в стоимости (времени) реализации получали в основном при применении метода ветвей и границ.

При применении ограниченного перебора и случайного поиска зачастую лучшие результаты давал случайный поиск, позволяющий уходить от локальных оптимумов.

4. Методы, позволяющие получать оптимальные или близкие к оптимальным планы любых многофакторных экспериментов, следует применять для объектов с количеством факторов $k > 3$. При этом по результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- при исследовании объектов с количеством факторов $k=3$ результаты оптимизации планов МФЭ приближенными алгоритмами, как правило, совпадают с оптимальным решением, полученным методом полного перебора. Это, в свою очередь, подтверждает правильность разработанных алгоритмов и программ. Иногда исключение составляют методы случайного поиска, ветвей и границ, симплекс - метод, жадный и ячеистый генетический алгоритмы;

- при исследовании объектов с количеством факторов $k \geq 4$ предпочтение необходимо отдавать муравьиным и генетическим алгоритмам, иногда хорошие результаты дает алгоритм ближайшего соседа;

- при оптимизации композиционных планов МФЭ целесообразно использовать метод итерационного планирования эксперимента и комбинированный метод, основанный на применении жадного алгоритма и метода имитации отжига. Неплохие результаты получаются и при применении генетических алгоритмов и симплекс-метода;

- при оптимизации трехуровневых планов 3^k хорошие результаты получаются при использовании генетических алгоритмов, симплекс-метода и табу-поиска.

- по быстродействию решения задачи оптимизации планов МФЭ методы можно расположить следующим образом: симплекс-метод, табу-поиск, ближайшего соседа, жадный алгоритм, имитации отжига, метод вложенных разбиений, генетические алгоритмы.

Выводы. В данной статье приведен сравнительный анализ методов, которые можно применить для оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов многофакторных экспериментов. Приведен перечень программ, которые реализуют методы поиска оптимальных планов эксперимента. По результатам оптимизации планов МФЭ для исследования ряда реальных объектов выданы рекомендации по применению проанализированных методов для решения данных задач.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошевой Н.Д. Сравнительный анализ методов оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Вып.150. – Харьков: ХНУРЭ. – 2010. – С.60-64.

2. Кошевой Н.Д. Сравнительный анализ алгоритмов оптимизации композиционных планов второго порядка / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, А.С. Чуйко // 36. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – Вип. 30. – К.: ВІКНУ, 2010. – С.40-45.

3. 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.

REFERENCES:

1. Koshevoy N.D. Sravnitelnyiy analiz metodov optimizatsii mnogofaktornyih planov eksperimenta / N.D. Koshevoy, O.L. Burleev, E.M. Kostenko // Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory

avtomatiki. – Vip.150. – Harkov: HNURE. – 2010. – S.60-64.

2. Koshevoy N.D. Sravnitelnyiy analiz algoritmov optimizatsii kompozitsionnyih planov vtorogo poryadka / N.D. Koshevoy, E.M. Kostenko, A.S. Chuyko // Zb. nauk. pr. viysk. In-tu Kiyivskogo nats. un-tu im. Tarasa Shevchenka. – Vip. 30. – K.: VIKNU, 2010. – S.40-45.

3. Koshevoy N.D. Optimalnoe po stoimostnyim i vremennyim zatratam planirovaniya eksperimenta / N.D. Koshevoy, E.M. Kostenko. – Poltava:izdatel Shevchenko R.V., 2013. – 317 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Угрюмов М.Л., профессор кафедры информатики Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

**д.т.н., проф. Кошовий М.Д., д.т.н., доц. Костенко О.М., Кошова І.І.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ВАРТІСНИМИ
(ЧАСОВИМИ) ВИТРАТАМИ ПЛАНІВ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Проведено порівняльний аналіз модифікованих і застосованих для синтезу оптимальних за вартісними (часовими) витратами планів багатofакторних експериментів таких методів дискретної оптимізації, як аналіз перестановок (повний перебір) випадковий пошук, метод гілок і меж, послідовного наближення, симплекс-метод, мурашині алгоритми, метод імітації відпалу, жадібний алгоритм, найближчого сусіда, генетичні алгоритми, табу-пошук, метод вкладених розбиттів, а також розроблених методів: символічних послідовностей, комбінаційно-графовий метод, методи синтезу оптимальних планів дробних і повних факторних експериментів, оснований на застосуванні коду Грея, метод ітераційного планування для оптимізації композиційних планів. Наведено перелік програм, які реалізують ці методи синтезу, і перелік реальних об'єктів, на яких опробувалися програми. Видані рекомендації по застосуванню методів синтезу оптимальних за вартісними (часовими) витратами планів багатofакторних експериментів.

Ключові слова: аналіз, метод, алгоритм, оптимальний план, вартість, час.

**prof. Koshevoy N.D., prof. Kostenko E.M., Koshevaya I.I.
THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS OF SYNTHESIS OF MULTIFACTORIAL
EXPERIMENT'S OPTIMAL PLANS IN COST (TIME)**

For synthesis of multifactorial experiment's optimal plans in cost (time) the comparative analysis of the modified and applied methods of discrete optimization such as a random search, branch and bound method, successive approximation, the simplex method, ant algorithms, the method simulated annealing, greedy algorithm, nearest neighbor, genetic algorithms, taboo search, nested partitions were carried out. Also the developed methods: character sequences, combinatorial and graph method, methods of synthesis of optimal plans of fractional and full factorial experiments based on the use of Gray code, method iterative planning to optimize composite plans were compared.

The list of programs that implement these methods of synthesis, and the list of real objects, on which the programs were tested, were given.

The guidelines of using the methods of synthesis of multifactorial experiment's optimal plans in cost (time) were published.

Keywords: analysis, method, algorithm, optimal plan, cost, time.