

УДК 004.722

В.А. ПОПОВ, А.В. БЕРДОЧНИК

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

## АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*Проведен обзорный анализ задач применения модифицированных моделей генетического алгоритма. Рассматриваются модели оптимизации комбинаторных задач на основе эволюционного поиска, для решения которых предлагается использовать модификации общего генетического алгоритма (ГА). В качестве рассматриваемых примеров взяты задача структурной комбинаторной оптимизации кампусных сетей и многопараметрическая задача оптимизации с ограничениями для списка альтернатив. Исследовано влияние количества итераций алгоритма на точность и скорость получения наилучшего результата. Реализовано программное обеспечение в среде Delphi, демонстрирующее работу модифицированного генетического алгоритма.*

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, генетический поиск, комбинаторная оптимизация, графы, скрещивание, мутация, хромосомы, кампусная сеть, абонент, коммутатор.

### Введение и обзорный анализ

Генетические алгоритмы (ГА), являясь одной из парадигм эволюционных вычислений, представляют собой алгоритмы поиска, построенные на принципах, сходных с принципами естественного отбора и генетики. Они объединяют в себе принцип выживания наиболее перспективных особей-решений и структурированный случайно-детерминированный обмен информацией. Популярность ГА обусловлена тем, что он позволяет найти более хорошие или рациональные решения практических оптимизационных задач за меньшее время, чем другие методы, обычно применяемые в этих случаях. Вторая немаловажная причина роста популярности ГА заключается в стремительном росте производительности современных компьютеров. Отличительной особенностью генетического алгоритма является его адаптивность и универсальность подходов. Кроме того, ГА обладает свойством неявного параллелизма, что позволяет ему динамически отыскивать и исследовать области, содержащие локальные и глобальные оптимумы, что выгодно отличает его от других методов оптимизации.

Применению генетических алгоритмов в различных задачах оптимизации посвящено множество работ. Проблема использования генетических алгоритмов для синтеза структур вычислительных систем рассматривается в [1], схожая задача оптимизации структур кампусных сетей описывается в [2], применение ГА в нестационарных задачах комбинаторного типа рассматривается в [3]. С помощью ГА решаются задачи ортогональной упаковки [4], зада-

чи планирования производства [5], оперативного управления поточным производством [6], многокритериальной конфликтной оптимизации [7].

Однако недостаточно внимания уделяется проблеме исследования эффективности работы ГА при различных исходных параметрах оптимизации.

### 1. Выделение нерешенных вопросов

Во всех вышеперечисленных работах мало исследовалось влияние исходных параметров на точность и скорость получения наилучшего решения. В данной работе предлагается на примере комбинаторной многопараметрической задачи оптимизации кампусных сетей исследовать влияние такого критерия останова ГА как количество итераций на точность получения оптимального решения. На основе полученных расчетных результатов построен график, отражающий зависимость точности нахождения наилучшего результата от количества итераций алгоритма.

### 2. Основной материал исследования

Общая модель и принципы функционирования ГА рассматриваются в [8]. Кратко работу алгоритма можно сформулировать так: вначале формируются исходные особи популяции (кодирование производных элементов). Далее итерационно моделируется процесс скрещивания внутри этой популяции с целью получения новых особей (или новых решений множества оптимизационной задачи), оператор му-

тации производит изменение особи (элемент случайного поиска в ГА, позволяющий преодолевать локальные оптимумы, приближая решение к глобальному). В основе оператора отбора, который служит для выбора родительских пар и уничтожения особей, лежит принцип «выживает сильнейший». Здесь используется функция оценки качества получаемых решений, так называемая *fitness* - функция или целевая функция. Процессы отбора, мутации и скрещивания повторяются до тех пор, пока не будет найдена лучшая популяция.

В процессе работы ГА все указанные выше операторы применяются многократно и ведут к постепенному изменению исходной популяции.

**Пример 1.** Рассмотрим задачу оптимизации структуры кампусной сети в виде неориентированного плоского графа. В результате решения оптимизационной задачи требуется найти наименьшую по стоимости структуру сети и расположение сетевых устройств – коммутаторов. Исходными данными для задачи проектирования являются размещения рабочих мест (абонентов), возможные места расположения сетевых устройств (коммутаторов), пути прохождения кабельных каналов, стоимости построения каналов связи. Для задачи оптимизации кампусных сетей с использованием ГА применяется графовое представление объектов оптимизации  $\Gamma=(V, R)$  [8]. Множество вершин  $V$  каждой структуры подразделяется на 2 типа – абоненты (А) и коммутаторы (К). Задача ГА состоит в том, что для известного расположения узлов сети необходимо оптимизировать структуру таким образом, чтобы все абоненты были подключены к коммутаторам, которые связаны между собой, и стоимость построения сети была бы минимальной. Ограничения задаются в виде матрицы стоимостей прокладки связей типа А-К и К-К. Накладываются ограничения на топологию сети: в получаемых графах-структурах не должно быть циклов, изолированных вершин и каждая вершина-абонент может соединяться только с вершиной-коммутатором. Разработанное программное обеспечение позволяет варьировать количество абонентов, коммутаторов, задавать ограничения в виде матрицы стоимостей прокладки каналов связи, что позволяет исследовать эффективность работы ГА в зависимости от исходных условий задачи. Кратко решение задачи можно представить следующим образом (рис. 1). В качестве условия останова выбран критерий количества генераций. При увеличении данного критерия растет вероятность получения лучшего решения, но и увеличиваются вычислительные затраты на решение. Именно поэтому исследовалось влияние данного критерия с целью определения такого числа итераций, которое давало бы близкий к оптимальному ответ. Модифи-

цированные схемы ГА для операций скрещивания и мутации представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

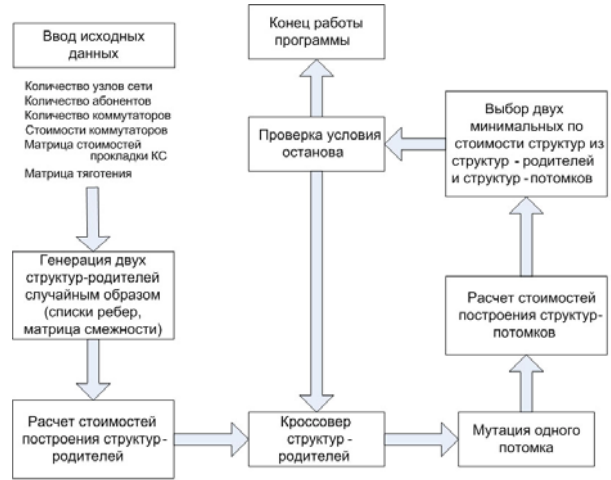


Рис. 1. Схема решения задачи оптимизации кампусной сети с использованием ГА

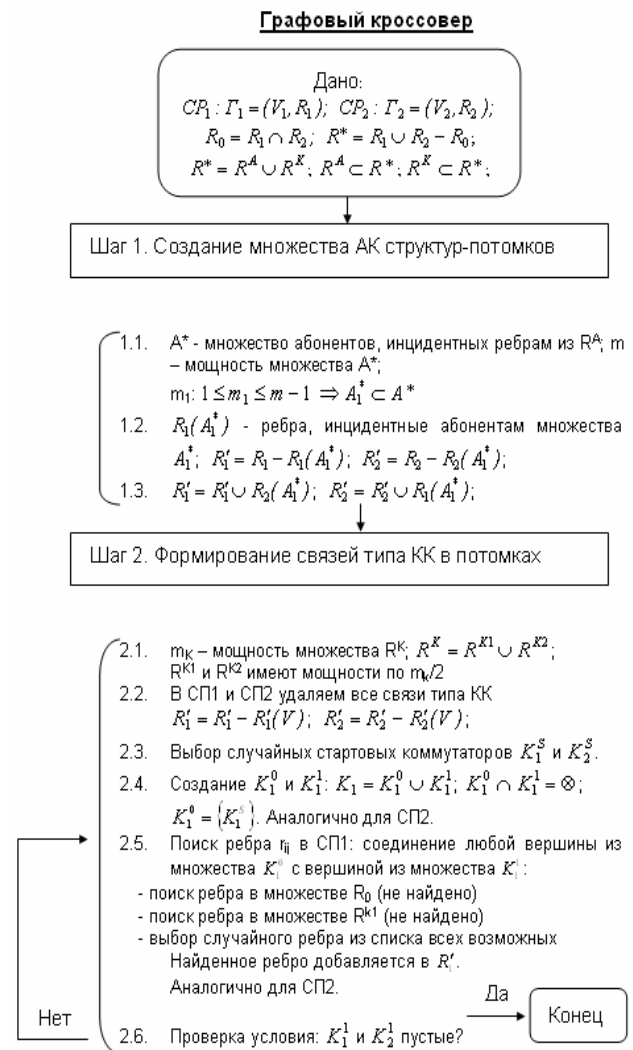


Рис. 2. Математическое представление схемы графового кроссовера

Здесь CP – структура-родитель, СП – структура-потомок. Оператор кроссовера на базе двух структур-родителей CP1 и CP2 получает две структуры-потомка (СП) путем смешивания ребер первой и второй CP.  $R_0$  – множество ребер, совпадающих у CP1 и CP2. Множество  $R_0$  подразделяется на подмножество ребер вида А-К ( $R^A$ ) и подмножество ребер вида К-К ( $R^K$ ).  $A^*$  – множество всех вершин-абонентов, инцидентных ребрам из множества  $R^A$ . Шаги 1.2 и 1.3 схемы кроссовера кратко можно представить как обмен в еще несформированных структурах-потомках участками сети, различными у структур-родителей. То есть ребра, отличные у структур-потомков, формируют подмножество ребер у структур-потомков, имитируя биологический процесс кроссовера (обмена участками хромосом). На шаге 2 проводится формирование связей между коммутаторами, на схеме (рис. 2) представлен математический аппарат этой операции.

**Графовая мутация**

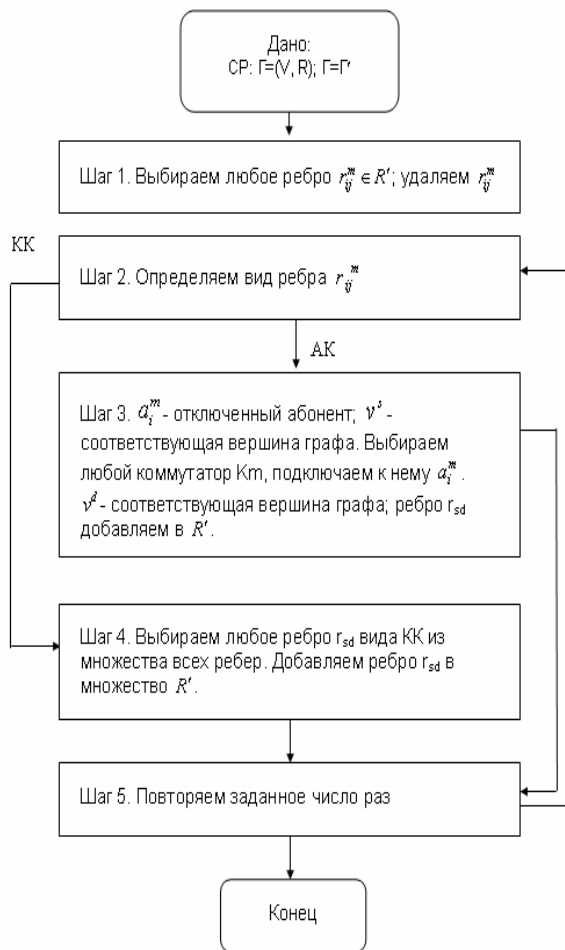


Рис. 3. Математическое представление схемы графовой мутации

На рис. 3 представлена схема мутации структуры сети. Исходными данными является структура-

родитель CP. На базе этой структуры необходимо получить СП  $G'(U', K')$ . На первом этапе действия оператора считаем, что  $G' = G$ . Математический аппарат данной операции также проиллюстрирован на предложенной схеме.

Основные этапы работы модифицированного генетического алгоритма проиллюстрированы ниже (рис. 4 – 6).

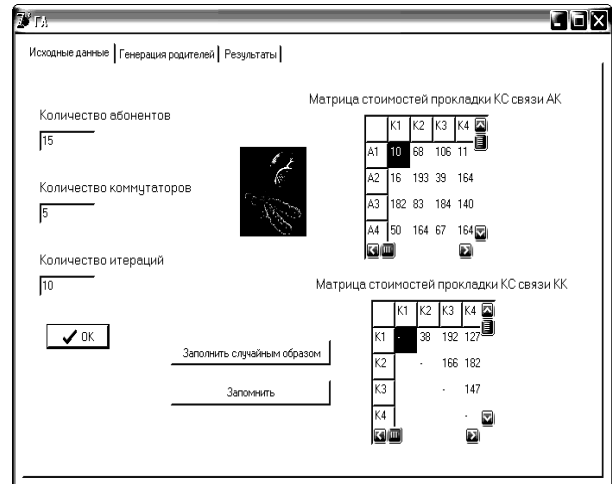


Рис. 4. Форма ввода данных для задачи оптимизации структур кампусных сетей с помощью ГА

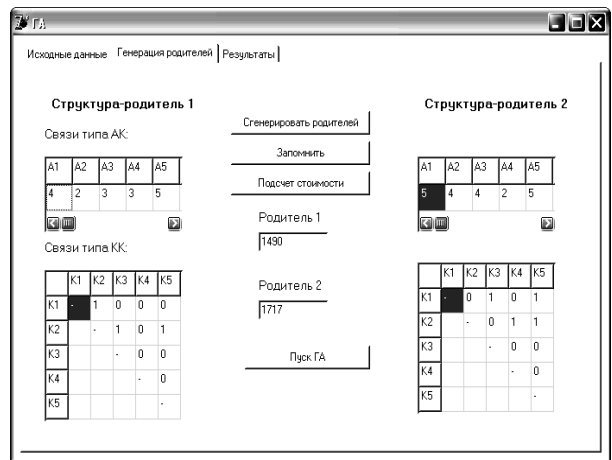


Рис. 5. Окно генерации структур-родителей

**Пример 2.** В качестве еще одного примера, иллюстрирующего работу генетического алгоритма, была взята многопараметрическая задача оптимизации с ограничениями для списка альтернатив с характеристиками стоимости и полезности. Необходимо найти такие из альтернатив, которые удовлетворяли бы заданным ограничениям, но в сумме давали максимальную полезность и минимальную стоимость.

Программная реализация данного ГА представлена на рис. 8, для данной задачи предусмотрено решение с использованием метода полного перебора, гарантирующего получение оптимального ре-

шения, но ограничивающего скорость получения результатов.

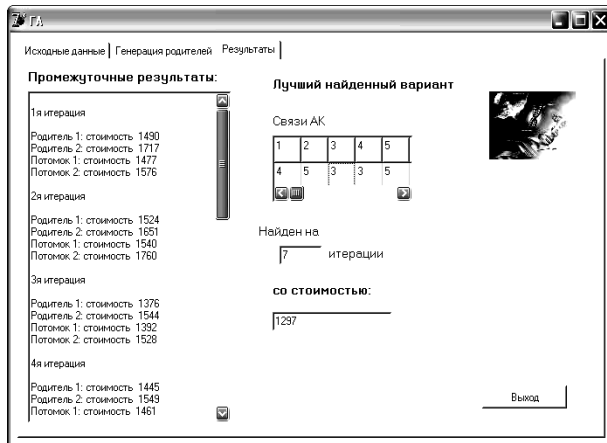


Рис. 6. Окно результатов работы ГА для задачи построения кампусных сетей

Программная реализация модифицированных ГА позволяет оценить эффективность применения данного алгоритма для оптимизационных задач. Подобные исследования дают возможность сделать вывод о том, что генетический поиск посредством включения оператора мутации и скрещивания имеет случайный характер, т.е. охватывает всю область решений, но оператор отбора позволяет отсеивать худшие решения в пользу лучших, таким образом приближаясь к глобальному оптимуму.

Здесь же можно отметить такое немаловажное достоинство ГА, как «обход» локальных оптимумов. Традиционные алгоритмы оптимизации (к примеру, градиентный спуск), попав в область локального оптимума, будут стремиться к нему, упуская возможный глобальный экстремум.

Генетический алгоритм в этом плане более адаптивен и имеет элемент случайного поиска, позволяющий охватывать всю область пространства решений. В некоторых случаях применение ГА целесообразно (например, при небольшом пространстве поиска можно применить метод полного перебора и гарантированно получить лучшее решение).

Но когда имеется большое пространство поиска и предполагается, что оно не совершенно гладкое и унимодальное (т.е. содержит один гладкий экстремум), ГА будет иметь хорошие шансы стать эффективной процедурой поиска, конкурируя и превосходя другие методы, которые не используют знания о пространстве поиска.

## Заключение

1. Предложенный модифицированный генетический алгоритм для решения комбинаторной опти-

мизационной задачи протестирован и показал при этом достаточную достоверность, устойчивость и эффективность.

2. Программная реализация модифицированных генетических алгоритмов позволяет выявить зависимость между входными параметрами оптимизации и скоростью нахождения оптимального решения.

3. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что выбор критерия останова работы генетического алгоритма в виде количества итераций напрямую влияет на качество получаемого решения (рис. 7), но элемент случайного поиска в генетическом алгоритме не дает для данного параметра четкой закономерности.

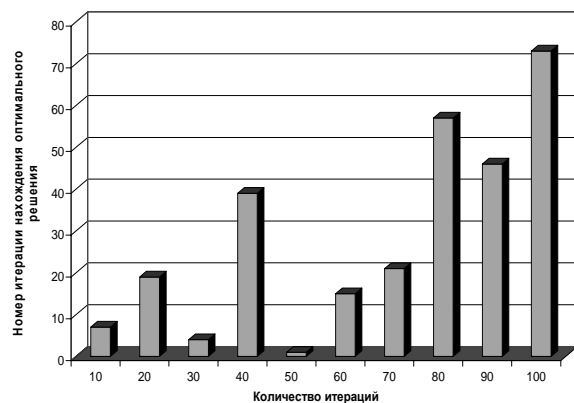


Рис. 7. Исследование влияния критерия останова ГА (количества итераций) на скорость получения наилучшего результата

4. Генетический алгоритм использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим.

5. Дальнейшее изучение методов применения различных модификаций ГА в оптимизационных задачах позволит получать за сравнительно небольшое время и при небольших затратах близкие к оптимальному решению. Также требуют решения такие задачи:

- исследование влияния исходной начальной статистики для ее дальнейшей генерации, обработки и получения оптимальных результатов для конкретных задач оптимизации;
- исследование влияния генераторов случайных чисел, применяемых в алгоритмах генетического поиска, на качество и время получаемого результата с учетом специфики условий исходных данных в конкретной предметной области;
- исследование влияния количества элементов в популяции для выполнения последующих шагов ГА;
- исследование влияния параметров операторов мутации и кроссовера на сходимость алгоритма;

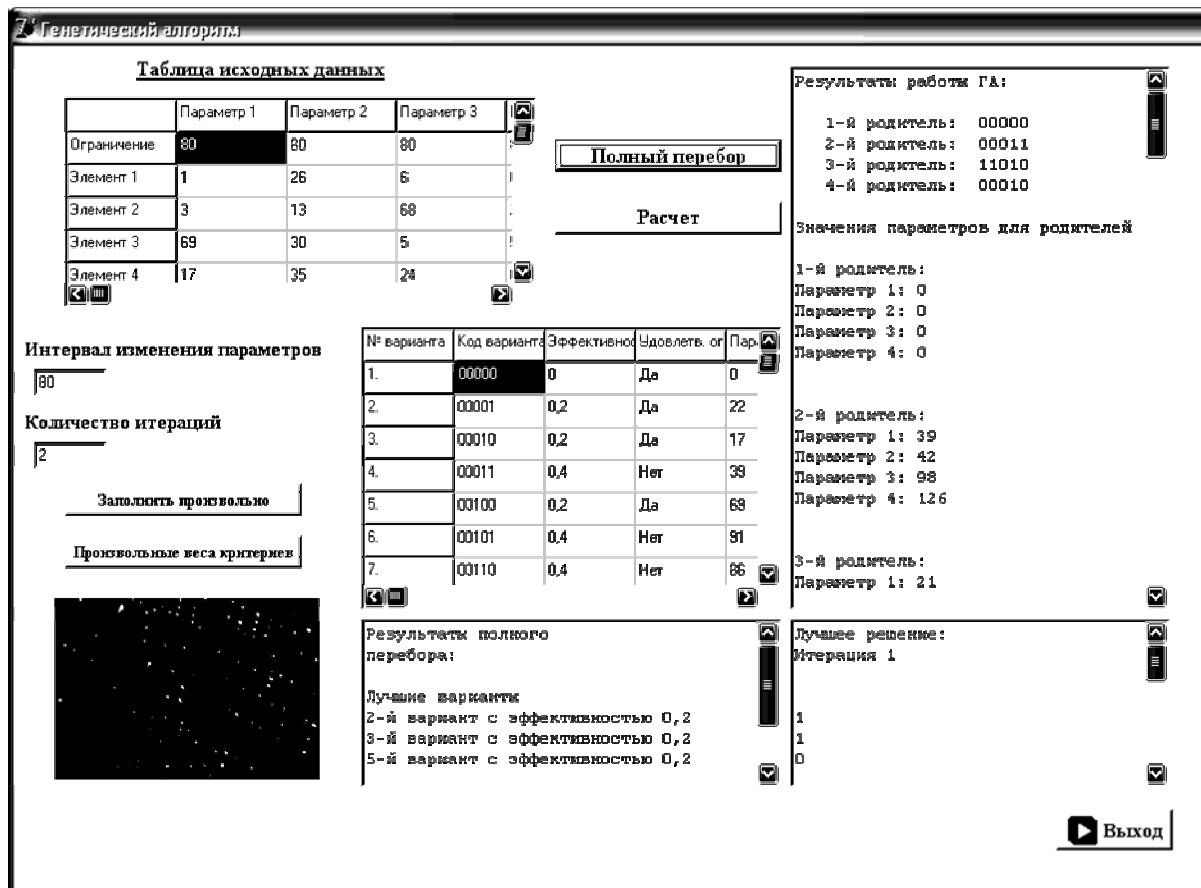


Рис. 8. Основная расчетная форма для многопараметрической оптимизационной задачи

- непосредственное сравнение результатов оптимизации, полученных с помощью традиционных строгих математических методов и полученных с помощью ГА;
- составление перечня задач оптимизации, которые более эффективно решаются с помощью генетических алгоритмов.

## Литература

1. Костенко В.А. Генетические алгоритмы решения смешанных задач целочисленной комбинаторной оптимизации при синтезе структур ВС / В.А. Костенко, А.Г. Трекин // Вестник МГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа к журн.: <http://lvk.cs.msu.su/index.php/articles/158>.
2. Пятаев О.В. Особенности формализации задачи оптимизации структуры кампусных сетей / О.В. Пятаев, А.В. Семашко // Электронный журнал "Исследовано в России" [Электронный ресурс]. – Режим доступа к журн.: <http://zhurnal.ape.relarn/articles/2001/000.pdf>.
3. Батищев Д.И. Оптимизация нестационарных задач комбинаторного типа с помощью генетических алгоритмов / Д.И. Батищев, Е.А. Неймарк, Н.В. Старостин. [Электронный ресурс]. –

Режим доступа: <http://lvk.cs.msu.su/index.php/articles/153>.

4. Валиахметова Ю.И. Мультиметодный генетический алгоритм для решения ортогональной упаковки / Ю.И. Валиахметова, А.С. Филишова // Информационные технологии. – 2007. – №12. – С. 50–56.

5. Витковски Т. Исследование переменных и параметров генетического алгоритма для планирования производства / Т. Витковски, С. Эльзвай, А. Антчак // Проблемы управления и информатики. – 2004. – №1. – С. 136-144.

6. Матвейкин В.Г. Использование генетического алгоритма при оперативном управлении поточным производством / В.Г. Матвейкин, Б.С. Дмитриевский, Н.В. Жданова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. – №12. – С. 56–58.

7. Серов В.А. Генетические алгоритмы оптимизации управления многокритериальными системами в условиях неопределенности на основе конфликтных равновесий / В.А. Серов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2007. – №4. – С. 70-78.

8. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов. – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.

9. Калмыков А.А. Математические модели оптимизации структуры телекоммуникационных систем / А.А. Калмыков, Н.А. Рындин // Информационные технологии. – 2006. – № 12. – С. 50-54.

10. Булгаков В.О. Вопросы применения аппарата нейронных сетей для построения транспортной сети с оптимальной структурой / В.О. Булгаков // Информационные технологии в планировании и производстве. – 2008. – №1. – С. 105-107.

Поступила в редакцию 29.04.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры информатики М.Л. Угрюмов, Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## АНАЛІЗ ГЕНЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

*В.О. Попов, А.В. Бердочник*

Проведено оглядовий аналіз задач застосування модифікованих моделей генетичного алгоритму. Розглядаються моделі оптимізації комбінаторних задач на основі еволюційного пошуку, для рішення яких пропонується використовувати модифікації загального генетичного алгоритму (ГА). Як розглянуті приклади взяті задачі структурної комбінаторної оптимізації мереж кампусів і багатопараметрична задача оптимізації з обмеженнями для списку альтернатив. Досліджено вплив кількості ітерацій алгоритму на точність і швидкість одержання найкращого результату. Реалізовано програмне забезпечення в Delphi, що демонструє роботу модифікованого генетичного алгоритму.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, генетичний пошук, комбінаторна оптимізація, графи, схрещування, мутація, хромосоми, кампусна мережа, абонент, комутатор.

## THE ANALYSIS OF GENETIC MODELS FOR PROBLEMS OF COMBINATORY OPTIMIZATION

*V.A. Popov, A.V. Berdochnik*

The survey analysis of problems of application of the modified models of genetic algorithm is lead. Models of optimization of combinatory problems on the basis of evolutionary search for which decision it is offered to use updatings of the general genetic algorithm (GA) are considered. As considered examples are taken a problem of structural combinatory optimization campus networks and a multiple parameter problem of optimization with restrictions for the list of alternatives. Influence quantity of iterations of algorithm on accuracy and speed of reception of the best result is investigated. The software in Delphi environment, showing work of the modified genetic algorithm is realized.

**Key words:** genetic algorithm, genetic search, combinatory optimization, graph, crossbreeding, mutation, chromosomes, campus networks, abonent, commutator.

**Попов Вячеслав Алексеевич** – канд. техн. наук, проф., профессор кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Бердочник Анна Вадимовна** – студентка 5 курса факультета систем управления летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: orions10@yandex.ru.