

УДК 656.131:330.46:519.87

МНОГОФАКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

© 2011 г. Н. В. Напхоненко, М. Р. Караева

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Анализируются современные проблемы городских пассажирских автомобильных перевозок, обоснованы преимущества и перспективы применения генетического алгоритма с целью их оптимизации.

Ключевые слова: *система городских пассажирских перевозок; пассажиропоток; организация перевозок; модели оптимизации; целевая функция; генетический алгоритм; хромосома; ген; популяция; оператор случайных изменений.*

Some actual nowadays problems of city's passengers motor transportation are analyzed in the article. The advantages and outlooks for using a genetic algorithm to optimize it are also substantiated.

Key words: *city's passengers transportation system; passengers flow; organizing the transportation; optimization models; target function; genetic algorithm; chromosome; gene; population; operator of stochastic variations.*

В настоящее время пассажирский транспорт является необходимым условием функционирования народного хозяйства и жизни населения. Наибольший удельный вес в пассажирообороте занимают внутригородские перевозки, осуществляемые пассажирским городским транспортом, который в свою очередь является сложной социально-экономической системой, так как включает большое количество взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов, имеющих сложную структуру, действующих как единое целое и направленных на решение собственных задач обеспечивающих достижение общей цели — максимизации прибыли.

Анализ современного состояния и динамики развития пассажирского транспорта показывает, что в 2007 г. объем городских перевозок составлял 19,3%, а в 2009 г. — 22,7% в общем количестве перевезенных пассажиров. В тоже время в 2010 г. число пассажиров, перевозимых в городском сообщении общественным транспортом большой вместимости, по сравнению с 2009 г., увеличилось на

4 209 216 человек в месяц, в частности, для коммерческих автобусов данный показатель увеличился на 3 717 763 чел./мес., для муниципальных — 353 377 чел./мес., для муниципальных трамваев — 210 295 чел./мес., при этом для коммерческих троллейбусов уменьшился на 72 219 чел./мес. Статистические исследования позволяют сделать вывод о том, что объем городских перевозок с каждым годом изменяется в сторону увеличения, это в свою очередь свидетельствует о масштабности и важности работы общественного транспорта [1; 2].

Особенно остро стоит проблема развития системы пассажирских перевозок в крупных городах с населением более миллиона человек, для которых характерными являются резкое увеличение пассажиропотока и усиление его напряженности, рост количества транспортных средств, увеличение подвижности населения и числа пассажирообразующих пунктов, высокий коэффициент сменности пассажиров, перегруженность и недостаточность пропускной способности улично-дорожной сети, неудов-

летворительное состояние подвижного состава, повышение требований пассажиров к качеству транспортного обслуживания и высокая конкуренция на рынке транспортных услуг. В таких условиях перед автотранспортными предприятиями (АТП) возникают задачи обеспечения регулярности движения транспорта, выпуска на маршрут необходимого количества автобусов, обеспечения надежности и безопасности перевозок с соблюдением их стабильности в «часы пик», обеспечения конкурентоспособности услуг по перевозке пассажиров.

Все это обуславливает необходимость применения новых оптимизационных решений при организации работы АТП; требует создания качественно новых систем, способных гибко реагировать на постоянно изменяющиеся условия функционирования системы городских пассажирских перевозок (ГПП) и требования пассажиров. Сложившаяся система организации перевозок, основанная на повышении плотности маршрутной сети и обеспечении регулярности движения транспорта, не всегда решает проблему оптимизации удовлетворения спроса на транспортные услуги, особенно в «часы пик». В некоторых ситуациях необходимо организовать работу транспорта таким образом, чтобы за короткий промежуток времени освоить массовые пассажиропотоки по различным направлениям.

Большой вклад в исследование и решение названных проблем транспорта внесли многие ученые, в том числе: Л. Б. Миротин, А. М. Гаджинский, М. П. Улицкий, В. А. Гудков, В. В. Зырянов, Г. А. Кононова, Ы. Э. Ташбаев, А. В. Вельможин, И. В. Спирин, Р. Г. Санамов, А. С. Липницкий, Д. М. Новоселов, М. Н. Поздняков, А. А. Папаскуа и другие. Существует ряд перспективных разработок, направленных на оптимизацию городского пассажирского транспорта. Анализ показывает, что единой отличительной особенностью для них является сведение общей задачи оптимизации к частной, учитывающей фиксированный набор показателей, что не позволяет в ряде случаев получить объективную картину с учетом множества взаимосвязей в современной обстановке — это задачи оптимизации управления на транспорте, повышения качества обслуживания, оптимизации маршрутной сети и другие. Очевидно, что

для получения наиболее полной картины при моделировании и оптимизации работы пассажирского автотранспорта в условиях крупного города и конкуренции сегодня необходимо принимать к рассмотрению максимально возможное количество показателей и факторов, при этом решать задачу в комплексе, в аспекте повышения прибыли предприятия.

Модели оптимизации подобных систем, как правило, относятся к классу комбинаторных, где решение может быть выбрано из конечного множества возможных вариантов. Однако большое количество ограничений и сложный вид целевой функции затрудняют решение задачи в комбинаторной постановке с использованием комбинаторных подходов по причине «проклятия размерности».

Известные подходы к решению подобных задач заключаются в том, что в постановку задачи либо вводятся допущения в целях её упрощения, уменьшения размерности и сведения к известным задачам комбинаторной оптимизации, либо выполняется разбиение задачи на этапы и для каждого из них определяются частные подзадачи и частные целевые функции. Решение может быть получено в результате итерационного выполнения этапов и решения частных подзадач на каждой стадии. В результате при таких подходах полученные решения являются приближенными, а процесс получения решения — достаточно трудоёмкий.

Другим вариантом является применение современных алгоритмов поиска, в частности генетических алгоритмов [3; 4]. Главной особенностью таких алгоритмов является возможность при оптимизации, во-первых, использовать целевую функцию, а не её оценки или приближения, а во-вторых, учитывать необходимое количество ограничений. В процессе работы генетический алгоритм (ГА) обрабатывает множества альтернативных решений, организуя поиск перспективных вариантов решений с точки зрения используемого функционала и ограничений.

Таким образом, предлагается сформулировать и решить задачу оптимизации работы пассажирского АТП по критерию максимизации прибыли предприятия, при этом имеется возможность учитывать максимальное количество показателей S , влияющих на деятельность автопредприятия. С этой целью

предлагается выделить следующие группы показателей: экономические, организационные, законодательно регламентируемые, нормативные, системы управления, качества обслуживания, условий движения; технико-эксплуатационные показатели маршрутных автобусов, технико-эксплуатационные показатели маршрутов и другие показатели, не вошедшие в данные группы:

$$S = \{X, E, Y, H, K, D, M, U, G, Q\},$$

где S — множество групп показателей; X — множество экономических показателей; E — множество организационных показателей; Y — множество показателей системы управления; H — множество технико-эксплуатационных показателей маршрутных автобусов; K — множество технико-эксплуатационных показателей маршрутов; L — множество законодательно регламентирующих показателей; M — множество нормативных показателей; U — показатели условия движения; W — показатели качества обслуживания; Q — прочие показатели.

В общем виде модель можно расширять, вводя дополнительные группы показателей, пополняя при этом множество S .

На множестве S можно определить целевую функцию как максимум прибыли АТП

$$F = f(X, E, Y, H, K, L, M, U, W, Q) \rightarrow \max,$$

при выполнении необходимых ограничений:

$$D = \{d_1, \dots, d_p, \dots, d_n\},$$

где d_i — ограничение, определенное на множестве S .

Для решения предлагается использовать генетический алгоритм, адаптированный к условиям поставленной задачи. При этом необходимо определить понятия хромосомы, гена, популяции, а также операторов случайных изменений [4].

В качестве хромосомы рассматривается вариант решения задачи, состоящий из элементов решения — генов. Множество вариантов решения составляют популяцию. Хромосома G состоит из генных групп:

$$G = \{g_X, g_E, g_Y, g_H, g_K, g_L, g_M, g_U, g_W, g_Q\}.$$

Каждая генная группа g_i представляет собой отображение соответствующей группы показателей и специфицируется с помощью нижнего индекса.

Генная группа объединяет гены γ_j , которые конструируются следующим образом:

$$g_i = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_j, \dots, \gamma_{|i|}\},$$

где i — индекс группы хромосом, соответствующий множеству показателей, $|i|$ — мощность соответствующего индексу i множества показателей.

Гены γ_j представляют собой векторы, сформированные из соответствующего показателя и представленного в двоичной форме. Длина вектора определяется исходя из количества двоичных бит, необходимого для представления показателя: $\gamma_j = \text{bin}(p_s^i)$, здесь $\text{bin}(arg)$ — функция преобразования аргумента arg , указанного в скобках, к двоичному виду; j — порядковый номер гена в хромосоме; i — номер генной группы; s — индекс показателя в соответствующем множестве показателей.

Таким образом, ген γ_i имеет вид

$$\gamma_i = (\gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \dots, \gamma_{iq}), i = \overline{1, m}$$

где q — количество разрядов, необходимое для двоичного представления показателя.

Сравнение хромосом осуществляется следующим образом: из анализируемой популяции $P = (G_1, \dots, G_p, \dots, G_r)$ лучшей считается хромосома $G_i: \Delta(G_i) < \Delta(G_j), j = \overline{1, r}, j \neq i$. Эта хромосома имеет наименьшую величину нарушения ограничений $\Delta(G_i)$. В том случае, если при выборе хромосомы нарушения ограничений равны, то выбирается хромосома с большим значением целевой функции $F(G_i)$.

Величина нарушения ограничений $\Delta(G_i) = f(D(G_i))$ представляет собой неотрицательную функцию, которая равна нулю в том случае, если все ограничения, определенные во множестве D и вычисленные для хромосомы G_i , выполняются, и резко возрастает при увеличении количества невыполненных ограничений, вычисленных для хромосомы G_i .

Таким образом, получена структура хромосомы, которая представляет собой закодированный вариант совокупности факторов, влияющих на работу пассажирского АТП, и обеспечивающий вариант организационно-экономического, управленческого и технического аспектов функционирования. Каждой хромосоме сопоставляется величина нарушения ограничений и вычисляется значение целевой функции.

Для генетического алгоритма разработано множество операторов случайных изменений [4] которые преобразуют хромосомы, выполняют конструирование новых хромосом и производят отбор перспективных для

развития хромосом. При реализации генетического алгоритма применительно к поставленной задаче необходимо уточнить и конкретизировать используемые операторы.

1. Репродукция:

а) двухродительский кроссинговер $BiKros(P_p, P_s)$. В операции участвуют две хромосомы-родители P_l и P_s :

$$\begin{aligned} P_l &= (\gamma_1^l = (\gamma_{11}^l, \gamma_{12}^l, \dots, \gamma_{1t}^l, \dots, \gamma_{1q}^l); \dots; \\ &\gamma_i^l = (\gamma_{i1}^l, \gamma_{i2}^l, \dots, \gamma_{it}^l, \dots, \gamma_{iq}^l); \dots; \\ &\gamma_m^l = (\gamma_{m1}^l, \gamma_{m2}^l, \dots, \gamma_{mt}^l, \dots, \gamma_{mq}^l)); \\ P_s &= (\gamma_1^s = (\gamma_{11}^s, \gamma_{12}^s, \dots, \gamma_{1t}^s, \dots, \gamma_{1q}^s); \dots; \\ &\gamma_i^s = (\gamma_{i1}^s, \gamma_{i2}^s, \dots, \gamma_{it}^s, \dots, \gamma_{iq}^s); \dots; \\ &\gamma_m^s = (\gamma_{m1}^s, \gamma_{m2}^s, \dots, \gamma_{mt}^s, \dots, \gamma_{mq}^s)). \end{aligned}$$

В результате выполнения операции $BiKros(P_p, P_s)$ путём обмена символами генов в точках разрыва конструируются две новые хромосомы — C_1 и C_2 :

$$\begin{aligned} C_1 &= (\gamma_1^1 = (\gamma_{11}^1, \gamma_{1,T^1}^1, \dots, \gamma_{1,T^1+1}^1, \dots, \gamma_{1q}^1); \dots; \\ &\gamma_i^1 = (\gamma_{i1}^1, \gamma_{i,T^j}^1, \dots, \gamma_{i,T^1+1}^1, \dots, \gamma_{iq}^1); \dots; \\ &\gamma_m^1 = (\gamma_{m1}^1, \gamma_{m,T^n}^1, \dots, \gamma_{m,T^n+1}^1, \dots, \gamma_{mq}^1)); \\ C_2 &= (\gamma_1^2 = (\gamma_{11}^2, \gamma_{1,T^1}^2, \dots, \gamma_{1,T^1+1}^2, \dots, \gamma_{1q}^2); \dots; \\ &\gamma_i^2 = (\gamma_{i1}^2, \gamma_{i,T^j}^2, \dots, \gamma_{i,T^1+1}^2, \dots, \gamma_{iq}^2); \dots; \\ &\gamma_m^2 = (\gamma_{m1}^2, \gamma_{m,T^n}^2, \dots, \gamma_{m,T^n+1}^2, \dots, \gamma_{mq}^2)). \end{aligned}$$

В качестве точки разрыва выступают символы генов γ_i , $i = 1, m$. Индексы этих символов также генерируются случайным образом $T_j^i = RANDOM(1, q)$, $j = 1, m$;

б) многородительский кроссинговер. В многородительском кроссинговере $KrosM(P_1, \dots, P_k)$ принимают участие k -родителей и аналогично двухродительскому кроссинговеру, производится обмен символами генов γ_i , где $k = RANDOM(1, q)$. В результате операции $KrosM(P_1, \dots, P_k)$ конструируются l -потомков $C_1, C_2, \dots, C_l$.

в) рекомбинация $Recombinate(P_1, \dots, P_k)$. Операция производится над k -родителями. В результате конструируются k -потомков, которые наследуют каждую единицу родительской информации следующим образом:

$$\begin{aligned} C_l &= (\gamma_1^l = (\gamma_{1,1}^{s_1}, \gamma_{1,2}^{s_2}, \dots, \gamma_{1,t}^{s_t}, \dots, \gamma_{1,q}^{s_q}); \dots; \\ \gamma_i^l &= (\gamma_{i1}^{s_{q \times (i-1)+1}}, \gamma_{i2}^{s_{q \times (i-1)+2}}, \dots, \gamma_{i,t}^{s_{q \times (i-1)+t}}, \dots, \gamma_{i,q}^{s_{q \times i}}); \dots; \\ \gamma_m^l &= (\gamma_{m,1}^{s_{q \times (m-1)+1}}, \gamma_{m,2}^{s_{q \times (m-1)+2}}, \dots, \gamma_{m,t}^{s_{q \times (m-1)+t}}, \dots, \gamma_{m,q}^{s_{m \times q}})); \\ l &= 1, \bar{k}, \text{ где } s_t = RANDOM(k), t = 1, \bar{z}, z = m \times q. \end{aligned}$$

2. Мутация:

а) многоточечная мутация $Mutate(P_l)$. Хромосома P_p , выбранная случайным образом из популяции, подвергается случайным изменениям. Для этого определяется количество вносимых изменений $k^{mut} = RANDOM(1, v)$, где v — размер хромосомы в символах.

Хромосома рассматривается как вектор $P_l = (\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_v)$, элементами которого являются символы генов γ_i . Затем проводится инвертирование $\chi_{I_s} = |\chi_{I_s} - 1|$, где $I_s = RANDOM(1, v)$, $s = 1, k^{mut}$;

б) интерполирующая рекомбинация $InterRec(P_p, P_s)$. В операции в качестве родителей участвуют две хромосомы: P_l и P_s . В данном случае также нет различия между генами, и хромосомы P_l и P_s рассматриваются как векторы $P_l = (\chi_1^l, \chi_2^l, \dots, \chi_r^l, \dots, \chi_v^l)$ и $P_s = (\chi_1^s, \chi_2^s, \dots, \chi_r^s, \dots, \chi_v^s)$.

Результатом $InterRec(P_p, P_s)$ является новая хромосома $C = (\chi_1^*, \chi_2^*, \dots, \chi_r^*, \dots, \chi_v^*)$, где $\chi_r^* = T^{bin} \chi_r^l + (1 - T^{bin}) \chi_r^s$, $r = 1, v$. Если полученная хромосома превосходит одну из хромосом-родителей, то она заменяет худшую хромосому-родителя;

в) селекция $Select(P_1, P_2, \dots, P_k)$. Операция представляет модификацию элитной рекомбинации с локальным соревнованием между потомком и наиболее близким к потомку родителем. Для выполнения операции вводится понятие степени близости двух хромосом P_l и P_s : $D(P_p, P_s) = K^y D^y$, где K^y — весовые коэффициенты для групп генов γ_j ;

$$D^y = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m |x_{ji}^l - x_{ji}^s|$$

— мера γ -близости хромосом P_l и P_s . Степень близости вычисляется после выполнения операций кроссинговера и рекомбинации для всех хромосом — родителей и потомков. Если потомок превосходит наиболее близкого родителя, то он занимает место родителя в популяции.

Дополнительно при конструировании ге-

нетического алгоритма вводятся операторы, которые производят случайные изменения, затрагивающие не всю хромосому, а одну генную группу, а также один определенный ген. Это связано с тем, что на заключительной стадии работы алгоритма, когда получены хромосомы, соответствующие близким к оптимальным решениям, целесообразно провести изменения над одним геном или одной генной группой. На концептуальном уровне это соответствует варьированию показателей, входящих в определенное множество, или же изменению определенного показателя. Таким образом, добавлены следующие операторы: генный двухродительский кроссинговер $GKross2(P_p, P_s, I)$, генная рекомбинация $GRecombine(P_p, \dots, P_k, I)$, генная мутация $GMutate(P_p, I)$. Операторы производят соответствующие преобразования в рамках I -й генной группы выбранных хромосом.

В основе самоорганизации генетического алгоритма лежит конкуренция операторов репродукции и мутации, настройки эффективного количества родителей для операторов случайных изменений. Дополнительно организуется конкуренция генов хромосом для проведения генных операций мутации и репродукции. Для операторов определяются их доли в общем числе операций, проводимых на одной итерации, а также эффективность каждого оператора. С учетом полученных значений корректируются доли операторов в общем числе операций одной итерации для следующей итерации, эффективное количество родителей для многородительских операторов, а также перспективный ген для выполнения генных операторов.

Таким образом, доказана актуальность и выполнена постановка задачи оптимизации

пассажирского автотранспорта в условиях крупного города с учетом максимально возможного количества влияющих факторов; рассмотрена возможность применения генетических алгоритмов для решения задачи оптимизации в условиях большой размерности и большого количества ограничений; показаны принципы конструирования хромосом, сравнения хромосом, преобразования ограничений задачи оптимизации и уточнены операторы случайных изменений применительно к поставленной задаче; определены и введены в алгоритм генные операторы случайных изменений с учетом описанных принципов самоорганизации.

Литература

1. Транспорт [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. — Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/environment/doklad/soderzhanie/ek_sit_RF/proizvodstvo_tov_i_usl/transport/index.html, свободный. — Загл. с экрана.
2. Чернышев М. В Ленинском районе Ростова заработал МФЦ [Электронный ресурс] / Официальный портал Городской думы и администрации Ростова-на-Дону. — Режим доступа: <http://www.rostov-gorod.ru/blog/one/>, свободный. — Загл. с экрана.
3. Минкин Ю. И., Петров А. И. Самоорганизующийся генетический алгоритм. // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2001. — №3.
4. Курейчик В. В., Курейчик В. М. Об управлении на основе генетического поиска. // Автоматика и телемеханика. — 2001. — №10.

Поступила в редакцию

15 сентября 2011 г.



Наталья Васильевна Напхоненко — к.э.н., профессор кафедры «Экономика и организация производства» ЮРГТУ (НПИ). Автор исследований по проблемам экономики и организации производства, экономике автомобильного транспорта, производственного менеджмента.

Natalia Vasilievna Napkhonenko — Ph.D., Candidate of Economics, professor of SRSTU (NPI) «Economics and Production Organization» department. Author of numerous research works, dedicated to problems of economics and production organization, economy of motor transportation, production management.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132 Prosveshcheniya st., 346428, Novocherkassk, Rostov reg., Russia
Тел.: +7 (8635) 25-50-45; факс: +7 (8635) 22-72-69; e-mail: econ-en@mail.ru



Марина Руслановна Караева — аспирантка кафедры «Производственный и инновационный менеджмент» ЮРГТУ (НПИ). Автор работ по проблемам развития городского пассажирского транспорта. Научный руководитель — профессор Н. В. Напхоненко.

Marina Ruslanovna Karayeva — postgraduate student at SRSTU (NPI) «Production Management and Management of the Innovations» department. Author's works are devoted to problems of developing city's passenger transportation. Research supervisor — professor N. V. Napkhonenko.

346428, г. Новочеркасск, ул. Троицкая, д. 126, кв. 111
126 Troitskaya st., app. 111, 346428, Novocherkassk, Rostov reg., Russia
Тел.: +7 (989) 613-66-62; e-mail: Karaevamarina@rambler.ru