**Использование муравьиного алгоритма для формирования расписания пассажироперевозок г. Томска**

**Горохова Е.С., Кочегурова Е.А.**

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет**

**Введение.** В настоящее время в г. Томск проживает более полумиллиона человек (1). Для обеспечения нормальных условий их деятельности необходима эффективная работа городского пассажирского транспорта. Тем не менее, наблюдаются проблемы в её организации. Так, часть маршрутов дублируется, а центральные улицы города сильно загружены(2). В связи с этим, задача построения расписания городского пассажирского транспорта является актуальной и должна быть решена в рамках более крупной задачи формирования маршрутной сети города.

Существует несколько методов решения задачи построения расписания (3):

* эвристические алгоритмы;
* метод динамического программирования;
* метод ветвей и границ;
* метаэвристические методы;
* графический метод..

Наиболее эффективными в настоящее время являются метаэвристические алгоритмы. К ним относятся алгоритмы поиска и исключениями, моделируемый отжиг, детерминированный отжиг, генетический алгоритм, нейронные сети, алгоритм на основе муравьиных колоний и другие.

В данной работе исследуется применение муравьиного алгоритма для оптимизации расписания городского пассажирского транспорта в г. Томске.

**Постановка задачи.** Необходимо составить расписание движения городского транспорта таким образом, чтобы обеспечить максимальную удовлетворенность как пассажиров, так и пассажироперевозчиков.

Основным требованием пассажиров является минимизация времени, которое нужно затратить на перемещение от одной остановки до другой.

$$\sum\_{i,j}^{}(tw\_{i}^{j}+\sum\_{k=i}^{l}∆t\_{k}^{j})\rightarrow min$$

где i – остановка отправления,

l – остановка прибытия,

j – номер маршрута,

$tw\_{i}^{j}$ – время ожидания автобуса j-го маршрута на i-й остановке,

$∆t\_{k}^{j}$ – время движения автобуса между остановками k до (k+1)-й остановки на маршруте j.

Для пассажироперевозчиков важна, в первую очередь, экономическая выгода от предпринимательской деятельности. Им необходимо максимизировать прибыль. Поскольку цены на городской транспорт контролируются муниципалитетом, увеличение прибыли возможно только за счет снижения издержек или увеличения пассажиропотока. В издержки входят затраты на топливо, содержание и текущий ремонт автобусов. Таким образом, необходимо минимизировать количество автобусов на маршрутах при наибольшем объеме перевозок.

$$\sum\_{j}^{}N\_{j}+M\rightarrow min$$

где j – номер маршрута,

Nj - количество единиц транспорта на i-м маршруте,

M - количество резервных единиц транспорта.

$$\sum\_{i, j}^{}pass\_{i}^{j}\rightarrow max$$

где i – порядковый номер автобуса,

j – номер маршрута,

$pass\_{i}^{j}$– количество пассажиров в i-м автобусе j-го маршрута.

Также необходимо учитывать, что в разные времена года, в разное время суток, а также в зависимости от того, является день будним, выходным или праздничным, интенсивность дорожного движения различается. Кроме того, изменения присущи объему пассажиропотока. Это сказывается на времени движения между остановками.

**Описание системы.** При составлении расписания необходимо определить:

* Количество единиц транспорта (автобусов, троллейбусов, трамваев):
	+ Количество единиц транспорта на i-м маршруте Ni;
	+ Количество резервных единиц транспорта M. Резервными называются автобусы, которые выходят на маршрут в случае поломки единицы основного состава;
* Время начала движения j-го автобуса на i-м маршруте $t\_{start}^{i, j}$;
* Время окончания движения j-го автобуса на i-м маршруте $t\_{end}^{i, j}$;
* Время простоя автобуса (нужно для отдыха водителя согласно санитарным нормам) $t\_{rest}$;

В исследуемой системе можно выделить следующие параметры:

* Время перемещения от i-ой до (i+1)-ой остановки $∆t\_{i}^{j}$ на маршруте j;
* Количество пассажиров $pass\_{i}^{j}$, перевезенное i-м автобусом j-го маршрута в течение дня;
* Количество остановок на i-м маршруте $BS\_{i}$;
* Количество пассажиров, желающих уехать с j-й остановки i-го маршрута за час $BS\_{i}^{j}$;
* Время ожидания пассажиром автобуса на i-й остановке j-го маршрута $tw\_{i}^{j}$;
* Время прибытия i-го автобуса на j-ую остановку k-го маршрута $tBS\_{i}^{j,k}$;
* Количество пассажиров, вошедших в i-й автобус на j-м маршруте на k-ой остановке $passBSin\_{k}^{i,j}$;
* Количество пассажиров, вышедших из i-го автобуса на j-м маршруте на k-ой остановке $passBSout\_{k}^{i,j}$
* Вместимость транспортного средства – максимально возможное количество пассажиров TC.

Необходимо учесть ограничение на количество пассажиров внутри каждого автобуса:

$$\sum\_{k\leq l}^{}BSin\_{k}^{i,j}-\sum\_{k\leq l}^{}BSout\_{k}^{i,j}\leq TC\_{i}$$

для ∀ l, где l – номер остановки, j – номер маршрута, i – номер автобуса.

Систему можно представить графом, где вершинам соответствуют остановки, а ребрам – дороги между остановками с весом, равным времени движения между этими остановками.

**Муравьиный алгоритм.** Как известно, муравьи живут в коллективах – колониях. Число муравьев в одной колонии может достигать нескольких миллионов особей. При этом действия муравьев при поиске пищи, преодолении препятствий, строительстве муравейника зачастую являются теоретически оптимальными или близкими к ним (4). Основу поведения муравьев составляет самоорганизация. Отличительной особенностью самоорганизации является использование муравьями только локальной информации. Никакого централизованного управления не происходит. Используется случайность, многократность, положительная и отрицательная обратная связь. Для передачи информации используется феромон – специальный секрет, откладываемый на тропе при перемещении муравья. Чем выше концентрация феромона на тропе, тем больше муравьев будет по ней двигаться. По прошествии определенного времени оставленный муравьем след испаряется. Это позволяет корректировать маршруты при изменениях внешней среды.

При адаптации муравьиного алгоритма к задаче формирования расписания были получены следующие утверждения.

* След феромона. Феромон откладывается там, где проехал автобус. Выбор величины оставленного феромона опирается на количестве пассажиров, которых автобус собрал на остановках. Чем больше людей собрано, тем сильнее след феромона. Пусть для каждой остановки j на маршруте i в текущий момент времени количество феромона составляет Fi,j .
* Феромон испаряется с течением времени.
* Список табу – список запрещенных вариантов действий. В данном случае это значения за границей допустимых интервалов движения. Пусть параметр - время движения между соседними остановками. Оно должно колебаться в каком-то допустимом интервале. Tj1,j2 – табу для движения между остановками j1 и j2.
* Видимость – локальная информация, которая выражает желание автобуса потратить на проезд между остановками именно такое количество времени. То есть имеем оптимальное, в соответствие с физическим состоянием дороги, время, к которому и будет стремиться автобус, а также различные отклонения от него. Предполагается, что чем больше отклонение, тем меньше желание выбрать именно это время движения.

 $η(i,j)=\frac{1}{\left|Δt\left(i,j\right)действ- Δt(i,j)опт\right|}$

где i – номер маршрута,

j – начальная остановка,

$Δt\left(i,j\right)действ$ – действительное время перемещения между остановками j и j+1,

$Δt(i,j)опт$ – оптимальное время перемещения между остановками j и j+1 ,

* Разные варианты расписания появляются при регулировании вклада двух параметров: видимости и следа феромона.

На старте алгоритма автобусы стоят на начальных остановках, откуда начинается их движение. Полагаем время дискретной величиной с интервалом дискретизации, равным минуте. Таким образом, через каждую минуту следует пересчитывать переменные, если они изменились. Изменения могут наступить в связи со следующими событиями:

* Автобус прибыл на остановку и забрал n пассажиров. Это увеличивает след феромона на данной остановке на n. Fi,j = Fi,j +n.
* Феромон испаряется с остановок с течением времени со «скоростью» p: Fi,j(t)= (1-p) Fi,j(t-1), pϵ[0, 1]. Это поможет учесть, что поток людей на остановках изменяется в течение дня: есть часы пик и более свободные часы.
* Автобус «решает», как долго следует ехать до следующей остановки на маршруте. По умолчанию движение происходит с наиболее удобной скоростью $Δt(i,j)опт$. Она высчитана на основе имеющейся информации о пассажироперевозках в Томске. Кроме того, с вероятностью (1) автобус принимает решение ехать с другой скоростью.

  (1)

Здесь i – номер маршрута

j – номер остановки в маршруте

j+1 – номер следующей остановки

k – номер варианта интервала времени движения между остановками, из допустимых

l – номера вариантов интервала времени движений между остановками

α – весовой коэффициент для феромона

β – весовой коэффициент для видимости

* Пересчет происходит, только когда автобус приезжает на остановку.

В конце рабочего дня необходимо рассчитать, сколько пассажиров было перевезено и сколько автобусо-часов потрачено. На основании анализа полученных данных и сравнения их с имеющейся статистикой принимается решение, эффективнее ли сработал алгоритм, чем заранее заданное расписание. Необходимо использовать алгоритм на протяжении нескольких дней, чтобы повысить его эффективность.

Также необходимо сохранять принятые решения каждого автобуса k на маршруте i о времени, потраченном на переезд между остановками j и j+1, чтобы потом восстановить наиболее удачный вариант расписания: $Δt\_{k}\left(i,j\right)$.

Применение описанного муравьиного алгоритма поможет улучшить эффективность существующего расписания городского пассажирского транспорта.

**Заключение.** В результате работы была исследована проблема составления эффективного расписания в г. Томске. Были изучены современные методы составления расписаний. Выбранный метод адаптирован для применения в задаче составления расписания городского пассажирского транспорта.

**Список источников.**

1. Организация Объединенных Наций. Население Томска на 2012 г. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://data.un.org/Data.aspx?d=POP&f=tableCode%3A240> (дата обращения 15.09.2015)

2. Таловская М.А., Фадеев А.С., Кочегурова Е.А. Расчет эксплуатационных показателей маршрутов городского пассажирского транспорта для предпроектного и инспекционного анализа (на примере города Томска). «Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)» 2014. № 1. 8с.3. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ) 2011. 222 с.4. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. №4. С.70-75.