

УДК 656.132:656.072

М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, В.В. Ясенов, Е.Д. Галкина

ПОДБОР АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ " ГИБКОГО " РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Цель работы: Рассматривается методика составления расписания движения городских автобусов с учетом неравномерности времени рейса в течение дня. Подробно разбирается подбор специальной функции, наилучшим образом аппроксимирующей данные выполненных рейсов.

Метод: Задача разбивается на три этапа. На первом, с помощью компьютерной программы, обрабатываются данные отметок навигационных устройств. На втором определяется класс подходящих функций. На третьем подбираются коэффициенты с использованием программной реализации метода наименьших квадратов.

Результаты: Методика подбора функции $T(t)$ аппроксимирующей замеры времени движения маршрутных транспортных средств между двумя конечными остановками.

Область применения: Реализация разработанной методики способна повысить регулярность движения городского общественного транспорта.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, пассажирские перевозки, регулярность движения, неравномерность движения.

Городской пассажирский транспорт (ГПТ) является основным способом передвижения пассажиров в большинстве российских городов, доля поездок на общественном транспорте составляет 60-70%. Одним из основных показателей качества обслуживания населения общественным транспортом является регулярность движения. Она прямо зависит от четкого соблюдения расписания движения маршрутных транспортных средств (МТС). По факту во многих городах по расписанию выполняется лишь малая часть рейсов, обычно в самом начале и конце рабочего дня [1]. Одной из причин этого являются устаревшие методы составления расписания движения автобусов, считающие время рейса постоянной величиной, хотя в современных условиях оно подвержено серьезным колебаниям в течение дня. В результате применения таких расписаний регулярность движения нарушается, особенно в «часы пик», снижается количество рейсов и качество обслуживания. Коммерческие операторы перевозочного процесса во многих случаях вообще не используют расписания, а осуществляют выпуск подвижного состава по так называемой «интервальной» стратегии.

Вопросами повышения регулярности движения автобусов на городских маршрутах занимались многие специалисты. Ими были предложены различные подходы: выделенные полосы для общественного транспорта, грамотное диспетчерское управление, нормирование скоростей движения автобусов и др. [2-4].

В данной работе приводится авторский алгоритм составления расписания движения городских автобусов, основанный на анализе кривых времени рейса. Назовем такое расписание «гибким». Для его составления необходима исходная информация о времени рейсов автобуса за большой период времени (желательно за год) и данные о пассажиропотоках.

Преимущества метода:

- а) выдерживается интервал выходов автобусов с одной из конечных;
- б) уменьшается число рейсов без ухудшения качества обслуживания;
- в) увеличивается коэффициент использования рабочего времени водителя.

Алгоритм составления расписания разбивается на несколько этапов:

1. Получение данных о времени рейса в прямом и обратном направлениях в виде

набора значений: $T_{01}(t_1), T_{01}(t_2), \dots, T_{01}(t_k), T_{02}(t_{k+1}), T_{02}(t_{k+2}), \dots, T_{02}(t_{2k})$, где через T_{01} обозначено время рейса в прямом направлении, T_{02} – в обратном.

2. Подбор функции, наилучшим образом аппроксимирующей полученные значения. Результат этапа – функции $T_1(t)$ и $T_2(t)$.

3. Определение по информации о пассажиропотоках потребного числа рейсов, числа смен водителей, интервалов движения автобусов.

4. Распределение водителей по рейсам.

В настоящей работе будет подробно разобран подбор аппроксимирующей функции. Реализация остальных этапов алгоритма будет детально рассматриваться в последующих публикациях авторов.

Информацию о движении автобусов, как правило, легко получить в виде треков бортового навигатора в формате *.csv. Далее из известных источников, например, OpenStreetMap, берутся геокоординаты конечных остановок. Каждая конечная представляется точкой в центре круга радиусом 50 м. Из потока координат в исходном файле выбираем такие пары соседних строк, чтобы первой отвечала точка внутри круга, второй – вне круга. Соответственно получаем время отправления от каждой из конечных или время прибытия на конечную. Данный этап реализовывался с помощью программы, работа которой показана на рис. 1.

Рис. 1. Программа анализа GPS-треков автобусов

Результат этого этапа – данные о времени рейса в прямом и обратном направлениях.

Таким образом на входе имеем набор точек $T_{01}(t_1), T_{01}(t_2), \dots, T_{01}(t_k), T_{02}(t_{k+1}), T_{02}(t_{k+2}), \dots, T_{02}(t_{2k})$ (через T_{01} обозначено время рейса в прямом направлении, T_{02} – в обратном). Необходимо подобрать пару функций $T_1(t)$ и $T_2(t)$ наилучшим образом описывающих изменение времени пути от первой конечной до второй и обратно в зависимости от времени суток.

Аппроксимация данных точек представляет собой нетривиальную задачу. Заметим, что искомые функции должны иметь по три экстремума: два максимума, соответствующих утреннему и вечернему часу пик и один минимум - соответствующий обеду. Стандартная аппроксимация в виде полинома, логарифмической или показательной функции не подходит

– логарифмическая и показательная функции имеют мало экстремумов, многочлены четвертого порядка слишком резко убывают на краях интервала, больших порядков – имеют много «лишних» экстремумов. Рассматривался класс функций зависящих от 9 параметров, представляющих собой алгебраическую сумму многочлена 4-й степени и двух экспонент общего вида $exp(-x^2)$. Их графики показаны на рис. 2, а, б.

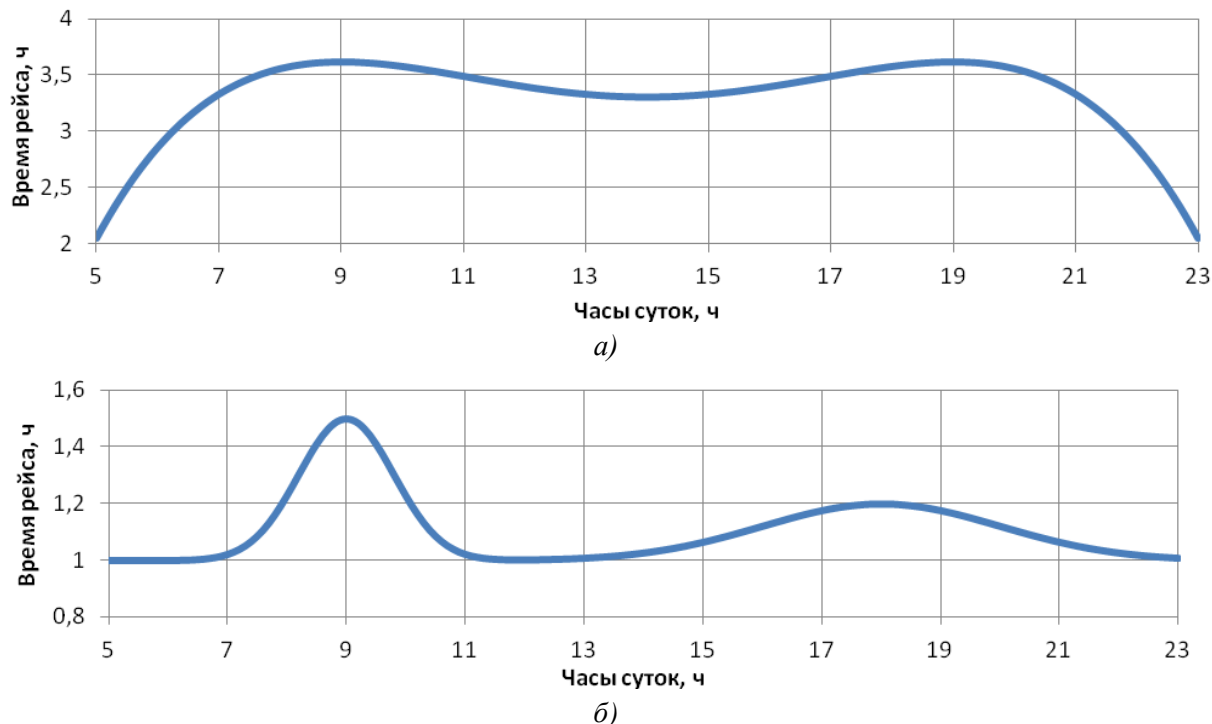


Рис. 2. Вид аппроксимирующей функции:
а – вариант 1; б – вариант 2

Общий вид функций следующий:

$$f(x) = k_1 f_1(x) + k_2 f_2(x),$$

где $f_1(x) = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + g$, $f_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} + m$.

Причины такого выделения - каждая из функций $f_1(x)$, $f_2(x)$ имеет нужное число экстремумов, которые легко установить. Поведение этих функций хорошо изучено - несложно указать как повлияет изменение коэффициентов на изменение вида графиков.

Для подбора функции из данного класса используется метод наименьших квадратов, т.е. ищется функция, обеспечивающая условие:

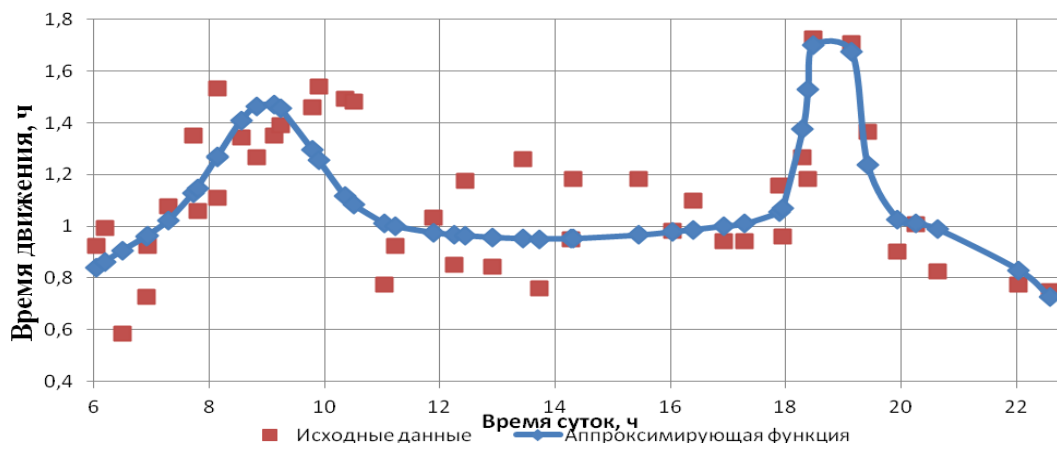
$$f(x) = \min \sum_i (T_{01}(t_i) - T_1(t_i))^2. \tag{1}$$

Подбор коэффициентов велся по следующей схеме:

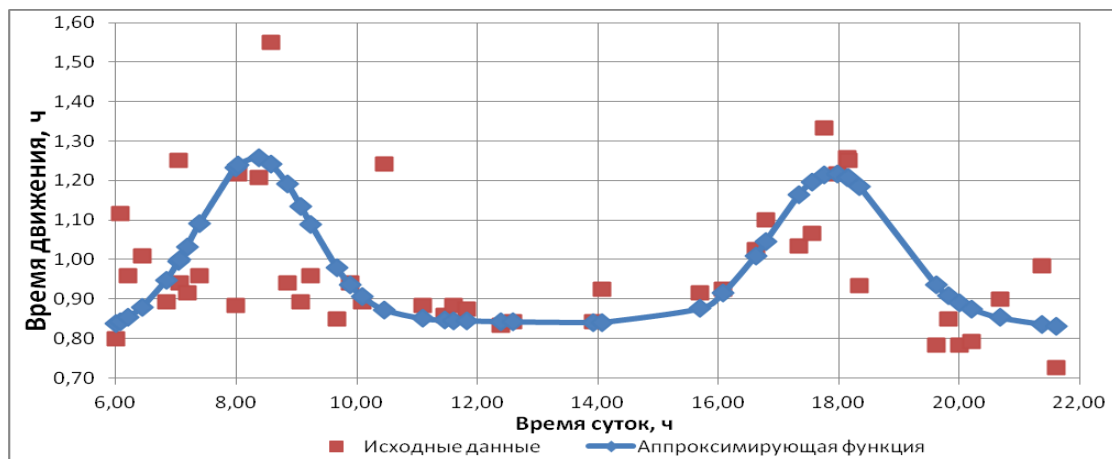
- 1) исходя из данных определялись максимумы функций и высота "пиков" и выбирались начальные значения внутренних коэффициентов $a, \dots, g, a_1, \sigma_1, a_2, \sigma_2$;
- 2) за счет подбора коэффициентов k_1 и k_2 регулируется поведение на краях интервала, соответствующих утру и вечеру;
- 3) выбирается диапазон изменения коэффициентов и шаг изменения и прямым перебором (с использованием компьютерной программы) вычисляются коэффициенты функции, удовлетворяющей условию (1). Время работы программы при задании не слишком широких диапазонов переменных - несколько секунд.

Заметим, что подбор коэффициентов в явном виде из решения соответствующих уравнений практически невозможен.

На рис. 3 представлены примеры такого подбора.



а)



б)

Рис. 3. Аппроксимация исходных данных:

а – для прямого направления; б – для обратного направления

Реализация остальных шагов алгоритма позволяет получить "гибкое" расписание движения МТС. Далее приводится пример такого расписания.

Таблица 1

Пример "гибкого" расписания движения маршрутных транспортных средств

Время выхода	Прибытие на конечную	Время оборота	Водитель	Раб. время	Обед
1	2	3	4	5	6
05:00	06:26	01:26	1		
05:12	06:42	01:30	2		
05:24	06:58	01:34	3		
05:36	07:13	01:37	4		
05:48	07:30	01:42	5		
06:00	07:46	01:46	6		
06:12	08:03	01:51	7		

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
06:24	08:21	01:57	8		
06:36	08:38	02:02	1		
06:48	08:55	02:07	2		
07:00	09:12	02:12	3		
07:12	09:27	02:15	9		
07:24	09:41	02:17	4		
07:36	09:54	02:18	5		
07:48	10:07	02:19	6		
08:00	10:18	02:18	10		
08:06	10:24	02:18	7		
08:12	10:30	02:18	14		
08:18	10:36	02:18	11		
08:24	10:43	02:19	8		
08:30	10:49	02:19	15		
08:36	10:56	02:20	16		
08:42	11:02	02:20	17		
08:48	11:09	02:21	18		
08:54	11:15	02:21	19		
09:00	11:20	02:20	12		
09:12	11:31	02:19	13		
09:24	11:40	02:16	1		00:45
09:36	11:48	02:12	9		
09:48	11:56	02:08	2		00:52
10:00	12:04	02:04	20		
10:12	12:12	02:00	3		00:59
10:24	12:21	01:57	10		
10:36	12:30	01:54	4		00:54
10:48	12:40	01:52	11		
11:00	12:51	01:51	5		01:05
11:12	13:02	01:50	6		01:04
11:24	13:14	01:50	12		
11:36	13:25	01:49	13		
11:48	13:37	01:49	1	07:51	
12:00	13:48	01:48	2	07:44	
12:12	14:00	01:48	21		
12:24	14:12	01:48	3	07:48	
12:36	14:24	01:48	4	07:54	
12:48	14:35	01:47	22		
13:00	14:47	01:47	5	07:54	
13:12	14:59	01:47	6	07:54	
13:24	15:11	01:47	23		
13:36	15:23	01:47	24		
13:48	15:35	01:47	25		
14:00	15:47	01:47	21		

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
14:12	16:00	01:48	26		
14:24	16:12	01:48	14		03:53
14:36	16:25	01:49	22		
14:48	16:38	01:50	15		03:58
15:00	16:51	01:51	16		04:03
15:12	17:05	01:53	23		
15:24	17:19	01:55	24		
15:36	17:33	01:57	25		
15:48	17:48	02:00	17		04:45
16:00	18:03	02:03	26		
16:12	18:18	02:06	18		05:02
16:24	18:33	02:09	14	06:28	
16:36	18:47	02:11	19		05:20
16:48	19:00	02:12	15	06:32	
17:00	19:13	02:13	16	06:33	
17:12	19:24	02:12	20		05:07
17:24	19:35	02:11	7	06:23	06:59
17:36	19:45	02:09	21		01:48
17:48	19:55	02:07	22		01:22
18:00	20:07	02:07	17	06:40	
18:06	20:15	02:09	8	06:28	07:22
18:12	20:24	02:12	23		01:06
18:18	20:36	02:18	9	06:55	06:29
18:24	20:51	02:27	24		01:04
18:30	21:07	02:37	18	07:16	
18:36	21:22	02:46	10	07:08	06:14
18:42	21:35	02:53	11	07:16	06:01
18:48	21:44	02:56	19	07:29	
18:54	21:47	02:53	12	07:07	05:40
19:00	21:46	02:46	13	06:59	05:34
19:12	21:36	02:24	25		01:38
19:24	21:30	02:06	20	06:22	
19:36	21:32	01:56	26		01:32
19:48	21:41	01:53	21	07:41	
20:00	21:51	01:51	22	07:41	
20:30	22:19	01:49	23	07:49	
21:00	22:47	01:47	24	08:06	
21:30	23:13	01:43	25	07:47	
22:00	23:37	01:37	26	07:53	

Полученное в ходе реализации описанной методики расписание было проверено на имитационной модели пассажирского маршрута [5, 6]. Следующим этапом работы авторов является апробация методики на реальных маршрутах Нижнего Новгорода и разработка программного комплекса для составления «гибких» расписаний.

Библиографический список

1. **Ясенов, В.В.** Анализ проблем в работе городского пассажирского транспорта г. Нижнего Новгорода / В.В. Ясенов, М.Е. Елисеев, А.В. Липенков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №4 (106). – С. 249–254.
2. **Власов, В.М.** Централизованная система управления движением наземного городского пассажирского транспорта по выделенным полосам / В.М. Власов, Л.А. Баранов, С.А. Ульянов // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №4. – С. 48–52.
3. **Гуревич, Г.А.** Автоматический расчет расписаний движения наземного маршрутизированного транспорта Г.А. Гуревич, С.Б. Перцович // Автотранспортное предприятие. – 2006. – №5. – С. 38–41.
4. **Богумил, В.Н.** Обеспечение автоматического контроля регулярности движения пассажирских транспортных средств в диспетчерской системе / В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №6. – С. 19–22.
5. **Елисеев, М.Е.** О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, О.А. Маслова // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №1. – С. 42–44.
6. **Елисеев, М.Е.** О модели городского пассажирского транспорта: моделирование логики пассажира / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, Е. М. Елисеев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2011. – №3. – С. 347–352.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2015*

M. E. Eliseev, A. V. Lipenkov, V.V. Yasenov, E.D. Galkina

**CALCULATION OF APPROXIMATING FUNCTIONS TIME TRAFFIC
IN COMPILING "FLEXIBLE" TIMETABLES ROUTE VEHICLES**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Purpose: The article presents the description of methodology of making up of a schedule of city buses movement taking into account the irregular time of rides during the day. The calculation of the irregularity is made by specially selected mathematical function that approximates the data of rides in a best way.

Method: The task is divided into three stages. On the first, the data of points from navigation devices is processed with using a computer program. The second, the class is determined by the appropriate functions. The third, function coefficients are selected using a software implementation of the method of least squares.

Results: The method of selection of function $T(t)$ approximating the measurement time traffic route vehicles between two end stops.

Application domain: Implementation of developed methodology could increase the regularity of city transport rides.

Key words: city passenger transport, passenger traffic, regularity of movement, rides irregularity.