

ТРАНСПОРТ

УДК 656.11

Д. Н. Самисько, канд. техн. наук, Т. А. Самисько, канд. техн. наук,
Н. В. Юшков

Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существенную помощь при составлении расписаний движения могут оказать методы имитационного моделирования движения автобусов. Использование этих методов позволяет оперативно учитывать изменяющиеся условия движения и вносить коррективы в расписание движения. Это говорит об актуальности разработки методики составления расписаний движения городских автобусов на основании имитационного моделирования.

Ключевые слова: автобус, маршрут, моделирование компьютерное, остановка автобусная, параметры геометрические, расписание движения, скорость движения

Введение

В практике получили распространение два метода разработки расписаний – табличный и графический [1]. Основным недостатком этих методов является то, что они не учитывают постоянно происходящие на маршруте изменения, оказывающие влияние на скорость движения автобусов и, как следствие, – на время их рейса. По нашему мнению, более точных результатов при составлении расписания движения городских автобусов можно добиться с применением имитационного моделирования. Именно компьютерное моделирование позволяет, не прибегая к значительным капиталовложениям, проанализировать влияние различных факторов (дорожные, погодные-климатические условия и т. д.) на время движения автобуса по маршруту.

Целью данной работы является разработка усовершенствованной методики составления расписаний движения городских автобусов, основанной на имитационном моделировании их движения по маршруту.

Основной материал работы

Процесс моделирования скоростей движения следует начать со сбора исходных данных об анализируемом участке дороги. В связи с тем, что условия движения на перегонах не однородны, процесс моделирования следует производить для характерных однородных участков, исходя из присущих исключительно им условий движения. На его скорость оказывают влияние следующие параметры: величина продольного уклона автодороги; качество дорожного покрытия (значение коэффициентов продольного и поперечного сцепления, коэффициента сопротивления качению); величина радиуса кривой; ширина полосы движения; скорость движущегося впереди транспорта [2, 3].

Аналитические зависимости для моделирования скорости движения определяем с учетом дорожных условий на участке перегона (целесообразно оформлять в виде развернутого плана, пример которого приведен в таблице 1) и характеристик автобуса. В [4–6] разработан процесс моделирования дорожного движения автомобиля по характерным однородным участкам. При моделировании учтены: параметры автобуса; параметры текущего харак-

терного однородного участка; параметры участков, которые предшествуют данному и находятся за ним; параметры движения автобуса на этих участках.

Таблица 1 – Пример развернутого плана

Номер характерного участка	1	2	3	4	...	n
Длины отдельных характерных участков L_k , км	L_1 , км	L_2 , км	L_3 , км	L_4 , км	...	L_n , км
Продольные уклоны на характерных участках α_k , градусы	α_1	α_2	α_3	α_4	...	α_n
Радиусы кривых в плане на характерных участках R_k , км	R_1 , км	R_2 , км	R_3 , км	R_4 , км	...	R_n , км
Изменения продольных уклонов на характерных участках i , м	i_1 , м	i_2 , м	i_3 , м	i_4 , м	...	i_n , м
Коэффициент поперечного сцепления колеса с дорогой φ_{yk}	φ_{y1}	φ_{y2}	φ_{y3}	φ_{y4}	...	φ_{yn}
Поперечные уклоны на характерных участках β_k , градусы	β_1	β_2	β_3	β_4	...	β_n
Коэффициент сопротивления качению на характерном участке f_k	f_1	f_2	f_3	f_4	...	f_n

Вследствие моделирования движения автобуса по однородным характерным участкам для каждого из них становятся известны значения скоростей: в начале данного участка, непосредственно на участке и в его конце. Кроме того, для каждого участка становится известным время движения по нему.

Первым этапом в процессе моделирования движения автобуса является сбор исходных данных для дальнейших расчетов. Анализ аналитических зависимостей для моделирования движения автобуса, которые приведены в [4–6] показал, что все исходные данные можно разбить на три группы:

1. Исходные данные, которые характеризуют технические характеристики автобуса:

1.1) габаритная высота автобуса H_a , м;

1.2) габаритная ширина автобуса B_a , м;

1.3) собственная масса автобуса m_{ATC} , т;

1.4) коэффициенты изменения вертикальных реакций для передней (m_1) и задней (m_2) осей автобуса;

1.5) эмпирические коэффициенты, которые зависят от типа двигателя, a_1, b_1, c_1 ;

1.6) максимальная мощность двигателя N_{max} , кВт;

1.7) максимальная скорость двигателя V_{max} , км/ч;

1.8) скорость, которая соответствует оборотам коленчатого вала при максимальной мощности, V_N , км/ч;

1.9) удельная касательная реакция колеса, χ ;

1.10) коэффициент полезного действия трансмиссии η_{mp} ;

1.11) база автобуса L , м;

1.12) колея колес автобуса B , м;

1.13) коэффициент сопротивления воздуха k_θ , Н·с²/м⁴;

1.14) максимально возможное ускорение a_{max} , м/с²;

1.15) максимально возможное замедление $-a_{max}$, м/с²;

1.16) коэффициент изменения максимально возможного ускорения $k_{y, max}$;

1.17) коэффициент изменения минимально возможного ускорения $k_{z, min}$;

2. Исходные данные, которые характеризуют маршрут:

2.1) длины отдельных характерных участков на маршруте l_i , м;

2.2) продольные уклоны на характерных участках α_i , градусы;

2.3) радиусы кривых в плане на характерных участках R_i , м;

- 2.4) изменения продольных уклонов на характерных участках i, m ;
- 2.5) коэффициент поперечного сцепления колеса с дорогой на характерных участках, φ_i ;
- 2.6) поперечные уклоны на характерных участках β_i , градусы;
- 2.7) коэффициент сопротивления качению на характерных участках f ;
- 2.8) суммарное время простоя на всех остановках, ч.;
- 2.9) суммарное время простоя из-за организации дорожного движения, ч.;
- 2.10) общее время движения по маршруту, ч.

3. Исходные данные, которые характеризуют существующую схему организации дорожного движения:

3.1) максимальная скорость в соответствии с существующей организацией дорожного движения $V_{max\text{ ОДД}}$, км/ч.

Значительное количество условий и факторов, которые учтены во время обработки исходных данных при моделировании скоростей движения автобуса делает невозможным проведение моделирования без применения компьютерной техники и специально разработанного программного обеспечения.

Для проведения моделирования была разработана компьютерная программа «Расчеты скоростей и времени движения». Эта программа разработана в среде программирования Delphi с помощью языка программирования Object Pascal.

Разработанная программа позволяет автоматизировать все расчеты. В результате работы программы для каждого перегона маршрута просчитываются скорости движения автобуса по ним и время движения.

По результатам моделирования движения автобуса становится возможным проводить корректировку режимов работы маршрута. Так, например, при ухудшении погодных условий неизбежно снижается коэффициент сцепления, который, в свою очередь, приводит к снижению безопасной скорости движения по перегонам. При существующем положении дел автобус, выехавший на маршрут при ухудшении дорожных условий, может отклониться от имеющегося расписания из-за снижения скоростей движения.

Разработанное программное обеспечение определения скоростей движения позволяет рассчитать время проезда автобусом перегона при любых значениях исходных данных. При этом могут вноситься оперативные изменения в составление расписаний движения городских автобусов.

Предлагаемая методика позволяет проводить объективный анализ резервов повышения (или снижения) скоростей движения на отдельных характерных однородных участках маршрута с учетом характеристик выбранного для маршрута автобуса и дорожных условий, сложившихся на соседних участках маршрута.

Полученные в результате компьютерного моделирования значения скоростей и времени движения по отдельным характерным однородным участкам маршрута позволяют организовать движение городских автобусов, которое базируется на реальных динамически меняющихся исходных данных.

Изложим основные этапы усовершенствованной методики составления расписаний движения городских автобусов на основании имитационного моделирования:

- 1) сбор исходных данных о технических характеристиках автобуса;
- 2) сбор исходных данных о маршруте. При этом для каждого участка необходимо построить развернутый план;
- 3) определение суммарного времени простоя на остановках для посадки-высадки пассажиров зависят от реальных обследований маршрута или законом распределения Эрланга;
- 4) определение суммарного времени простоя из-за организации дорожного движения:

$$t_{\text{ОДД}} = t_{\text{нерег.пер.}} + t_{\text{рег.пер.}} + t_{\text{неи.переход}}, \text{ ч.}, \quad (1)$$

где $t_{\text{нерег.пер.}}$ – простой на нерегулированном перекрестке, ч.;

$t_{рег.пер.}$ – простой на регулируемом перекрестке, ч.;

$t_{пеш.переход}$ – простой из-за пешеходных перекрестков, ч.

5) моделирование движения автобуса с помощью компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения»;

б) определение общего времени движения по маршруту:

$$t_{ов.м} = t_{мод} + t_{он} + t_{ОДД}, \text{ ч.}, \quad (2)$$

где $t_{мод}$ – смоделированное время движения автобуса с помощью компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения», ч.;

$t_{он}$ – простой на остановках для посадки-высадки пассажиров, ч.;

$t_{ОДД}$ – простой из-за организации дорожного движения, ч.

7) составление расписания и разработка решений и рекомендаций, основанных на полученных расчетах.

Заключение

Предложено усовершенствовать существующую методику составления расписаний движения городских автобусов на основании имитационного моделирования их движения по характерных однородным участкам маршрута.

Усовершенствование заключается в том, что скорости и время движения автобуса по маршруту движения предлагается определять на основании компьютерного моделирования движения с учетом технических характеристик автобуса.

С целью реализации поставленной задачи в работе разработана компьютерная программа «Расчет скорости и времени движения», в результате работы которой становятся известными скорости проезда и время движения по маршруту. При моделировании учитываются дорожные условия, технические характеристики автобуса, существующая (или предлагаемая) организация дорожного движения.

Список литературы

1. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спирин. – Москва : Академия, 2010. – 400 с.
2. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля / В. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Иларионов. – Москва : Машиностроение, 1983. – 212 с.
3. Автомобили: тягово-скоростные свойства и топливная экономичность / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шара. – Киев : КВИЦ, 2004. – 174 с.
4. Самисько, Д. Н. Производительность карьерных грузовых автомобильных перевозок : специальность 05.22.01 «Транспортные системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Н. Самисько. – Горловка, 2013. – 224 с.
5. Самисько, Д. Н. Моделирование процесса дорожного движения транспортного средства i-й характерной однородной участком маршрута исследования / Д. Н. Самисько // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2011. – № 3. – С. 38–46.
6. Самисько, Д. Н. Алгоритм моделирования процесса дорожного движения транспортного средства / Д. Н. Самисько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/4(55). – С. 43–50.

Д. Н. Самисько, Т. А. Самисько, Н. В. Юшков

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Методика составления расписаний движения городских автобусов

на основе имитационного моделирования

Разработана усовершенствованная методика составления расписаний движения городских автобусов, основанная на имитационном моделировании их движения по маршруту. В сравнении с табличным и графиче-

ским методами более точных результатов при составлении расписания движения городских автобусов можно добиться с применением имитационного моделирования.

Процесс моделирования скоростей движения следует начать со сбора исходных данных об анализируемом участке дороги, которые представлены тремя блоками, характеризующими технические параметры автобуса, маршрут в целом и существующую схему организации дорожного движения.

Для учета значительного количества условий и факторов при моделировании скоростей движения автобуса было создано специальное программное обеспечение «Расчеты скоростей и времени движения», разработанное в среде программирования Delphi с помощью языка программирования Object Pascal. Данная программа позволяет автоматизировать все расчеты, в результате чего для каждого перегона маршрута становятся известны скорости движения автобуса по ним и время движения.

Полученные в результате компьютерного моделирования значения скоростей и времени движения по отдельным характерным однородным участкам маршрута позволяют организовать движение городских автобусов, которое базируется на реальных динамически меняющихся исходных данных.

В статье изложены основные этапы усовершенствованной методики составления расписаний движения городских автобусов на основании имитационного моделирования.

АВТОБУС, МАРШРУТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ, ОСТАНОВКА АВТОБУСНАЯ, ПАРАМЕТРЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ, РАСПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ, СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

D. N. Samisko, T. A. Samisko, N. V. Iushkov
Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
City Buses Scheduling Technique Based on the Simulation

The improved technique for the city buses scheduling based on the simulation modelling of their movement along the route is developed. Compared to the tabular and graphical methods, more accurate results can be achieved when scheduling city buses using simulation.

The process of modelling traffic speeds should begin with the collection of initial data on the analyzed section of the road, which are represented by three blocks characterizing the technical parameters of the bus, the route as a whole and the existing traffic organization scheme.

To take into account a significant number of conditions and factors when modelling bus speeds, a special software «Speed and movement time calculation», developed in the Delphi programming environment using the Object Pascal programming language is created. This program allows us to automate all calculations, as a result of which, for each stage of the route, the speeds of the bus along them and the time of movement become known.

The values of speeds and movement time along the separate characteristic homogeneous sections of the route obtained as a result of the computer simulation make it possible to organize the movement of city buses, which is based on the real dynamically changing initial data.

The article outlines the main stages of the improved technique for scheduling city buses based on the simulation.

BUS, ROUTE, COMPUTER SIMULATION, BUS STOP, GEOMETRIC PARAMETERS, TRAFFIC SCHEDULE, TRAFFIC SPEED

Сведения об авторах:

Д. Н. Самисько

SPIN-код РИНЦ: 6088-4257
ORCID ID: 0000-0002-4898-0963
SCOPUS: G-1244-2016
Телефон: +38 (071) 318-99-61
Эл. почта: sdn1982@yandex.ua

Н. В. Юшков

Телефон: +38 (071) 325-73-23
Эл. почта: nik.yushkov.97@mail.ru

Т. А. Самисько

SPIN-код РИНЦ: 8841-4450
ORCID ID: 0000-0002-2218-917X
SCOPUS: G-5056-2016
Телефон: +38 (071) 318-99-62
Эл. почта: samisko.ta.tt.adi@gmail.com

Статья поступила 10.02.2022

© Д. Н. Самисько, Т. А. Самисько, Н. В. Юшков, 2022

Рецензент: В. В. Быков, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»