

ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

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

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА АВТОБУСОВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Усовершенствована методика определения количества автобусов, работающих на маршруте в пригородном сообщении, за счет определения скоростей и времени движения автобуса по маршруту на основании компьютерного моделирования.

Ключевые слова: автобус, геометрические параметры маршрута, маршрут пригородный, скорость сообщения, средство маршрутное транспортное

Введение

Пассажирский транспорт выполняет важную функцию – предоставляет услуги по перевозке пассажиров. Такая услуга приносит определенные прибыли транспортным предприятиям, но одновременно требует значительных затрат. Размер прибыли зависит в основном от объема перевозок и действующих тарифов. Размер тарифов на перевозку определяется на основе себестоимости, которая связана с технологией перевозок. В настоящее время при определении количества автобусов, работающих в пригородном сообщении, используется методика, учитывающая количество перевозимых пассажиров, время оборота и вместимость автобуса. При этом существующая методика не учитывает изменение времени оборота из-за изменяющихся дорожных, погодных-климатических условий, наполненности салона автобуса и т. д.

Учитывая вышесказанное, существует потребность в усовершенствовании существующей методики определения количества автобусов в пригородном сообщении.

Анализ публикаций

Значительный вклад в разработку ключевых проблем в сфере организации транспортного обслуживания пассажиров сделали М. Д. Блатнов, Г. А. Варелопуло, Е. П. Володин, В. К. Доля, И. С. Ефремов, О. С. Игнатенко, Ю. С. Лигум, Л. Б. Миротин, Д. С. Самойлов, В. В. Скалецкий, И. В. Спирин, М. Б. Островский, А. В. Панишев, В. П. Полищук, Г. М. Юн и другие ученые.

При решении различных задач, связанных с оптимизацией пассажирской транспортной системы, исследователи определяют такие виды пассажирского сообщения [1]:

- городские;
- пригородные;
- местные (сельские или внутрирайонные);
- междугородные;
- международные.

Сегодня основная часть населения ДНР проживает в городах и поселках городского типа. Как следствие – пригородные перевозки занимают второе место по массовости после внутригородских.

К пригородным перевозкам относятся перевозки, осуществляемые за пределы города на расстояние до 50 км включительно [2]. Исследователи акцентируют внимание на том, что целью пригородных перевозок является доставка пригородного населения в город и в обратном направлении, а также городского населения в пригородные зоны и обратно [2].

Различия пригородных перевозок от городских заключаются в нижеследующем [1]:

- перевозится меньшее количество пассажиров;
- значительно увеличивается количество пригородных пассажиров весной и осенью;
- существенно большие расстояния перевозок;
- меньшее количество на маршруте остановок для посадки-высадки людей;
- увеличенные интервалы движения транспортных средств.

Пригородные перевозки чрезвычайно важны для пригородных районов крупных городов.

Существующая методика определения необходимого количества автобусов состоит из следующих этапов:

- определение вместимости подвижного состава, исходя из часовой мощности пассажиропотока;
- подбор нескольких вариантов подвижного состава под определенную в первом пункте вместимость;
- выбор наиболее рационального подвижного состава, исходя из его производительности, обеспечиваемого интервала движения, коэффициента использования пассажироместимости и т. д.;
- определение времени оборота подвижного состава на маршруте путем хронометражных наблюдений;
- определение количества автобусов по зависимости:

$$A = \frac{F_{\max} \cdot T_{об}}{q_H \cdot \gamma}, \quad (1)$$

где $F_{\max}$ – значение пассажиропотока на максимально загруженном перегоне маршрута, пасс./ч.;

$T_{об}$ – время оборота автобуса на маршруте, ч.;

q_H – номинальная вместимость автобуса, пасс.;

γ – коэффициент использования вместимости автобуса.

Существенным недостатком приведенной методики является то, что время оборота автобуса, определенное один раз при определенных дорожных условиях для определенного автобуса, закладывается в расчет необходимого количества автобусов и используется в течение длительного времени. На самом деле время оборота может существенно меняться в зависимости от дорожных условий, технического состояния автобуса, усталости водителя, изменений в схеме организации дорожного движения и т. д. Особенно это актуально для пригородных и маршрутов, имеющих значительную протяженность.

Таким образом, необходимо усовершенствовать существующую методику с учетом более качественного определения времени оборота автобусов. Одним из вариантов решения данной проблемы является определение времени оборота с помощью имитационного моделирования движения автобуса по маршруту.

Цель работы

Усовершенствовать методику определения количества автобусов в пригородном сообщении.

Основная часть

Основным параметром автобуса, оказывающим влияние на эффективность разрабатываемого расписания движения городских автобусов, является расчетная скорость (интервал).

По нашему мнению, с целью повышения качества проектирования расписания движения городских автобусов, следует прибегнуть к компьютерному моделированию движения автобуса на перегонах.

Именно компьютерное моделирование позволяет, не прибегая к значительным капиталовложениям, проанализировать влияние различных факторов (дорожные, погодные-климатические условия и т. д.) на результат расчета программы координации.

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:

- а) величина продольного уклона автодороги, градусов;
- б) качество дорожного покрытия (значение коэффициентов продольного и поперечного сцепления, коэффициента сопротивления качению);
- в) величина радиуса кривой, км;
- г) ширина полосы движения, м;
- д) скорость движущегося впереди транспорта.

В работах [3, 4] были разработаны аналитические зависимости и алгоритмы для моделирования движения одиночного автомобиля по характерным однородным участкам. В данной работе эти зависимости и алгоритмы применены для усовершенствования методики определения количества автобусов в пригородном сообщении.

Моделирование скорости движения i -го автобуса транспортного потока по k -му характерному однородному по дорожным условиям участку на основании выбора минимальной из приведенных в работе [4] восьми скоростей дает возможность установить максимально возможную по условиям безопасности движения скорость для этого характерного однородного участка ($\min V_{ik}$, км/ч).

Логическим продолжением исследования является учет в моделировании не только технических характеристик автобуса и условий дорожного движения, а и длины k -го характерного однородного по дорожным условиям участка, возможных ускорений и замедлений автобуса и значений его скоростей на предыдущем и следующем характерных однородных участках.

В работах [3, 4] разработан процесс моделирования дорожного движения автобуса по характерным однородным дорожным условиям участкам, которые учитывают: параметры автобуса; параметры текущего характерного однородного участка; параметры участков, которые предшествуют данному и находятся за ним; параметры движения автобуса на этих участках.

Вследствие моделирования движения автобуса с помощью данных, для каждого характерного однородного по дорожным условиям участка становятся известными значения скоростей: в начале данного участка, непосредственно на участке и на ее 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 [3, 4] 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_{tr} ;
- 1.11. База автобуса, L , м;
- 1.12. Колея колес автобуса, B , м;
- 1.13. Коэффициент сопротивления воздуха, k_6 , 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 максимально возможного замедления, $k_{z. \min}$;
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 , м;
 - 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, $t_{ост}$, ч.;
 - 2.9. Суммарное время простоя из-за организации дорожного движения, $t_{одд}$, ч.
3. Исходные данные, которые характеризуют существующую схему организации дорожного движения:
 - 3.1. Максимальная скорость в соответствии с существующей организацией дорожного движения, $V_{\max одд}$, км/ч.

Исходные данные, которые характеризуют дорожные условия на перегоне, целесообразно оформлять в виде развернутого плана, пример которого приведен в таблице 1.

В развернутом плане информация приводится в такой последовательности:

- в первой строке представлена информация о номерах характерных участков и их количестве. Заполнение этой строки следует проводить в последнюю очередь после определения границ отдельных характерных участков, исходя из присущих им условий движения;
- во второй строке приведена информация о длине отдельных характерных участков. Заполнение этой строки следует проводить в предпоследнюю очередь после определения границ отдельных характерных участков, исходя из присущих им условий движения;

Таблица 1 – Пример развернутого плана

1. Номер характерного участка	1	2	...	n
2. Длины отдельных характерных участков, L_k , км	L_1 , км	L_2 , км	...	L_n , км
3. Продольные уклоны на характерных участках, α_k , градусов	α_1	α_2	...	α_n
4. Радиусы кривых в плане на характерных участках, R_k , км	R_1 , км	R_2 , км	...	R_n , км
5. Изменения продольных уклонов на характерных участках, i , м	i_1 , м	i_2 , м	...	i_n , м
6. Коэффициент поперечного сцепления колеса с дорогой, ϕ_{yk}	ϕ_{y1}	ϕ_{y2}	...	ϕ_{yn}
7. Поперечные уклоны на характерных участках, β_k , градусов	β_1	β_2	...	β_n
8. Коэффициент сопротивления качения на характерном участке f_k	f_1	f_2	...	f_n

– в третьей строке представлена информация о продольных уклонах на маршруте, α_k , градусов, к тому же при условии движения на подъем уклон имеет знак «+», а при условии движения на спуск «-».

Эту информацию можно получить из геодезической съемки.

– в четвертой строке приведена информация о радиусах закруглений, R_k , м. В работе Г. Б. Безбородовой [5] делается упор на том, что радиусы кривых в плане следует принимать из такого ряда величин: 25, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500 метров (кривые с радиусом $R \geq 500$ метров принимаются прямолинейными);

– в пятой строке представлена информация об изменениях продольных уклонов на маршруте, i , метров, к тому же при условии движения на подъем уклон имеет знак «+», а при условии движения на спуск «-»;

– в шестой строке представлена информация о коэффициентах поперечного сцепления колеса с дорогой φ_{yk} и определяется в зависимости от типа и состояния покрытия на маршруте [5].

На сухих дорогах с твердым покрытием коэффициент сцепления имеет наибольшее значение, так как в этом случае он обуславливается не только трением скольжения, но и межмолекулярным взаимодействием материалов колеса и дороги (механическим зацеплением).

На мокрых дорогах с твердым покрытием коэффициент сцепления существенно уменьшается (в 1,5–2 раза).

– в седьмой строке приведена информация о поперечных уклонах, β_k , градусов. Эта информация может быть получена из паспорта дороги;

– в восьмой строке представлена информация о значении коэффициентов сопротивления качению f_k на каждом из характерных однородных участков [6].

На дорогах с твердым покрытием сопротивление качению обусловлено главным образом деформациями шины. При увеличении числа дорожных неровностей коэффициент сопротивления качению возрастает.

На деформируемых дорогах коэффициент сопротивления качению определяется деформациями шины и дороги. В этом случае он зависит не только от типа шины, но и от глубины образующейся колеи и состояния грунта.

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.

По этой причине была разработана компьютерная программа «Расчеты скоростей и времени движения».

Эта программа разработана в среде программирования Delphi с помощью языка программирования Object Pascal. Общий вид окна программы приведен на рисунке 1.

Цель создания этого программного продукта:

- 1) моделирование скоростей движения автобуса на маршруте;
- 2) определение максимально возможных безопасных скоростей движения автобуса на характерных однородных участках маршрута;
- 3) определение минимального времени движения автобуса на однородных участках маршрута.

Программный продукт разработан с учетом таких ограничений:

– весь маршрут, на котором планируется введение программного обеспечения, разбит на характерные участки в зависимости от условий движения по ним (наличие продольных и поперечных уклонов, кривых в плане, коэффициентов продольного и поперечного сцепления колеса с дорогой);

– определение времени движения автобуса между пересечениями осуществляется на основании смоделированных скоростей его движения на отдельных характерных участках. Скорость на каждом характерном участке определяется путем ее моделирования, учитывая

технические характеристики автобуса, условия дорожного движения, длину k -го характерного однородного участка, максимально возможные ускорения и замедления автобуса и значения его скоростей на предыдущем и следующем характерных однородных участках;

Р **Расчёт скорости и времени движения**

Исходные данные для моделирования

Характеристики автобуса

1) Марка автобуса

2) Модель автобуса

3) Полная масса автобуса, тонн

4) Ширина автобуса, м

5) Коэффициенты изменения вертикальных реакций для осей автобуса:

- передней

- задней

6) Тип двигателя

• бензиновый

• дизельный

7) Максимальная мощность двигателя, кВт

8) Максимальная скорость автобуса, км/ч

9) Скорость автобуса, отвечающая максимальной мощности двигателя, км/ч

10) Коэффициент полезного действия транс.

11) Колеса автобуса, м

12) Наибольшая высота автобуса, м

13) Удельная касательная реакция колеса

14) База автобуса, м

15) Коэффициент сопротив. воздуха, $H \cdot c_2 / m^4$

16) Максимально возможное ускорение, м/с²

17) Максимально возможное замедление, м/с²

Характеристики маршрута

1) Количество характерных участков

2) Ширина полосы движения, м

3) Разрешенная скорость движения, км/ч

Построить таблицу

Номер характерного участка

Длина характерного участка, км

Продольные уклоны, градусы

Радиусы кривых в плане, км

Коэффициент поперечного сцепл.

Угол попереч. уклона дороги, град

Коэффициент сопротивления кач.

Импортировать данные из Excel

4) суммарное время простоя на всех остановках, часов

5) суммарное время простоя из-за организации дорожного движения, часов

Расчитать максимально возможные скорости движения на характерных участках

Перейти к расчёту скоростей движения с учётом ускорений

Моделирование движения по характерным однородным участкам

2) Расчёт скоростей с учётом ускорений и замедлений

3) Графики

4) Отчёт

1) Расчёт скоростей из условий безопасности движения

Скорости движения из условий безопасности движения

Номер характерного участка

V1, км/ч

V2, км/ч

V3, км/ч

V4, км/ч

V5, км/ч

V6, км/ч

V7, км/ч

Примечание: V1 - Максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия бокового скольжения;
V2 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия опрокидывания;
V3 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса передней оси автобуса;
V4 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса задней оси автобуса;
V5 - максимально допустимая скорость движения из баланса мощностей;
V6 - максимальная скорость автобуса;
V7 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия выезда автобуса за границы полосы движения;

Минимальные из возможных скорости на участках из условий безопасности движения

Номер характерного участка

Vmin

Рисунок 1 – Общий вид окна программы «Расчет скорости и времени движения»

– ускорение автобуса j , м/с^2 , моделируется для каждого характерного однородного участка маршрута. Ускорение автобуса на k -м характерном однородном участке равняется расчетному ускорению на этом участке $a_{\text{расч.к}}$, которое определяется во время моделирования скоростей движения на отдельных характерных однородных участках.

Разработанная программа позволяет автоматизировать все расчеты.

Результаты моделирования могут быть сохранены в виде графиков и электронной таблицы Microsoft Office Excel для дальнейшего практического анализа.

С учетом сказанного выше предложим усовершенствованную методику определения необходимого количества автобусов, работающих в пригородном сообщении.

Усовершенствованная методика включает следующие этапы:

- определение вместимости подвижного состава, исходя из часовой мощности пассажиропотока;
- подбор нескольких вариантов подвижного состава под определенную в первом пункте вместимость;
- имитационное моделирование движения автобуса по маршруту и определение времени его оборота для конкретных условий;
- определение количества автобусов по зависимости (1), но с учетом того, что время оборота автобуса определяется на основании имитационного моделирования движения автобуса.

Существенными преимуществами усовершенствованной методики являются учет при определении времени оборота на маршруте изменяющихся дорожных условий, технического состояния автобуса и изменений в схеме организации дорожного движения.

Экспериментальные исследования проводились для двух пригородных маршрутов, связывающих город Донецк с селом Коммунарровка (маршрут № 195) и селом Марьяновка (маршрут № 151).

На обоих маршрутах работают автобусы ПАЗ 320303-08.

По результатам моделирования было установлено, что для летних условий время оборота на маршруте № 195 – 3,785 часа, а на маршруте № 151 – 1,214 часа.

Моделирование движения автобуса по первому перегону для зимних условий показывает, что время движения увеличивается с 0,0226 часа до 0,0281 часа. Разница между временем движения на первом перегоне в секундах для летних и зимних условий составляет 19,8 секунды. При этом разница во времени оборота на маршруте № 195 для летних и зимних условий может достигать до 32 минут, что в конечном итоге может существенно повлиять на результаты определения необходимого количества автобусов, работающих на пригородном маршруте.

Расчеты по формуле (1) показывают, что при условии определения времени оборота с учетом изменяющихся дорожных условий и схемы организации дорожного движения на маршрутах № 195 и № 151 в зимний период может дополнительно требоваться до двух автобусов.

Заключение

В работе проведен анализ существующей методики определения необходимого количества автобусов, работающих на маршруте. Установлено, что основным параметром автобусов, оказывающим влияние на определение их необходимого количества для работы на маршруте, является техническая скорость.

Предложено усовершенствовать существующую методику определения необходимого количества автобусов, работающих на пригородном маршруте, путем определения скоростей и времени движения автобуса по маршруту на основании компьютерного моделирования.

Установлено, что при условии определения времени оборота с учетом изменяющихся дорожных условий и схемы организации дорожного движения на маршрутах № 195 и № 151 города Донецк в зимний период может дополнительно требоваться до двух автобусов.

Список литературы

1. Кристопчук, М. Є. Приміські пасажирські перевезення / М. Є. Кристопчук, О. О. Лобашов. – Харків : НТМТ, 2012. – 224 с. – ISBN 978-617-578-109-8.
2. Кристопчук М. Є. Ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : спеціальність 05.22.01 «Транспортні системи» : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Михайло Євгенович Кристопчук ; Харків : ХНАМГ, 2009. – 214 с.
3. Самісько, Д. М. Моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу і-тою характерною однорідною ділянкою маршруту / Д. М. Самісько // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 3. – С. 38–46.
4. Самісько, Д. М. Алгоритм моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу / Д. М. Самісько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 4(55). – С. 43–50.
5. Безбородова, Г. Б. Моделирование движения автомобиля // Г. Б. Безбородова, В. Г. Галушко. – Киев : Вища школа, 1978. – 167 с.
6. Вахламов, В. К. Автомобили. Эксплуатационные свойства / В. К. Вахламов. – Москва : Академия, 2005. – 240 с. – ISBN 5-7695-1978-9.

Д. Н. Самісько, Т. А. Самісько, В. Н. Сокирко
Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Усовершенствование методики определения количества автобусов в пригородном сообщении

Проведен анализ существующей методики определения необходимого количества автобусов, работающих на маршруте. Установлено, что основным параметром автобусов, оказывающим влияние на определение их необходимого количества для работы на маршруте, является техническая скорость.

Предложено усовершенствовать существующую методику определения необходимого количества автобусов, работающих на пригородном маршруте, путем определения скоростей и времени движения автобуса по маршруту на основании компьютерного моделирования.

Разработана компьютерная программа «Расчет скорости и времени движения», которая позволяет автоматизировать определение времени оборота автобуса на маршруте с учетом дорожных условий, технических характеристик автобусов, существующей организации дорожного движения на маршруте.

Установлено, что при условии определения времени оборота с учетом изменяющихся дорожных условий и схемы организации дорожного движения на маршрутах № 195 и № 151 города Донецк в зимний период может дополнительно требоваться до двух автобусов.

АВТОБУС, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАРШРУТА, МАРШРУТ ПРИГОРОДНОЙ, СКОРОСТЬ СООБЩЕНИЯ, СРЕДСТВО МАРШРУТНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ

D. N. Samisko, T. A. Samisko, V. N. Sokirko

Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Methodology Improvement for the Number of Buses Determination in the Suburban Traffic

The analysis of the existing methodology for the determination of the required number of buses operating on the route is carried out. It is established that the main parameter of buses that influences the determination of their required number to work on the route is the technical speed.

It is proposed to improve the existing methodology for the determination of the required number of buses operating on a suburban route by determining the speed and time of the bus along the route based on the computer simulation.

The computer program «Speed and Travel Time Calculation» is developed. It allows to automate the determination of the bus turnaround time on the route, taking into account the road conditions, technical characteristics of buses, the existing organization of the traffic on the route.

It is established that provided the turnaround time is determined taking into account changing road conditions and the traffic organization scheme on the routes № 195 and № 151 of the city of Donetsk in winter, up to two additional buses may be required.

BUS, ROUTE GEOMETRIC PARAMETERS, COMMUTER ROUTE, TRAFFIC SPEED, ROUTE VEHICLE

Сведения об авторах:

Д. Н. Самісько

SPIN-код РИНЦ: 6088-4257
 Телефон: +7 (949) 318-99-61
 Эл. почта: sdn1982@yandex.ru

Т. А. Самісько

SPIN-код РИНЦ: 8841-4450
 Телефон: +7 (949) 318-99-62
 Эл. почта: tasuly@rambler.ru

В. Н. Сокирко

SPIN-код РИНЦ: 4423-7224
 Телефон: +7 (949) 301-98-54
 Эл. почта: dekanat-tt@rambler.ru

Статья поступила 27.02.2023

© Д. Н. Самісько, Т. А. Самісько, В. Н. Сокирко, 2023

Рецензент: Н. Н. Дудникова, канд. техн. наук, АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»