

## ТРАНСПОРТ

---

---

УДК 656.13.05

А. Н. Дудников, канд. техн. наук, Н. Н. Дудникова, канд. техн. наук,  
В. В. Бабенко

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

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ НА ПЕРЕГОНАХ УЛИЦ

*Разработана новая методика нормирования технической скорости автобусов в условиях городских пассажирских перевозок, которая учитывает возможность образования заторов на перегонах улиц. Методика позволяет рассчитать время и условия существования затора на перегонах, а также заложить указанное время в расчеты технической скорости, как вынужденный простой.*

*Ключевые слова:* перевозка городская автобусная, скорость техническая, перегон улицы городской, образование затора, время существования затора

#### **Постановка проблемы**

Проведенный анализ существующих исследований [1–6] в области учета влияния характеристик транспортного потока на организацию городских пассажирских автобусных перевозок показал следующее. Из рассмотренных влияющих процессов на организацию городских автобусных перевозок выделен в качестве основного процесс движения транспортных потоков по перегонам городских улиц [1–6]. Время движения между остановочными пунктами с учетом расстояния между указанными пунктами формируется в виде технической скорости движения автобусов на перегонах маршрута, что формирует расписание движения подвижного состава. В условиях движения в составе транспортных потоков указанное выше время может увеличиваться за счет снижения скорости транспортных потоков, вплоть до образования заторов. Следовательно, учет образования заторов на перегонах городских улиц необходим при нормировании технической скорости автобусов.

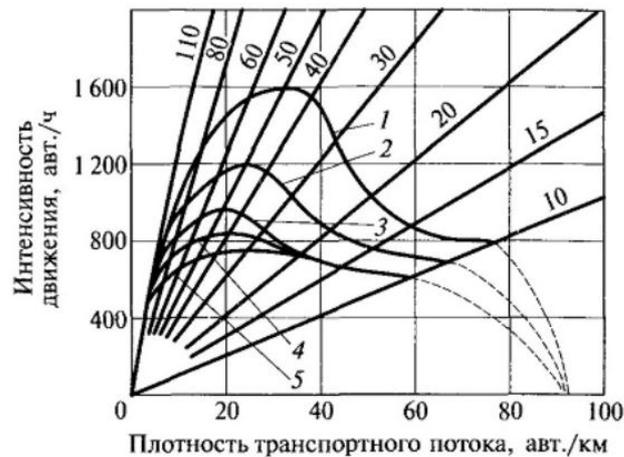
#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Анализ современных исследований показал, что скорость транспортного потока оказывает определяющее воздействие на формирование технической скорости автобусов на перегоне маршрута [1–6]. При этом связь имеет вид линейной, в области 30 км/ч наблюдается смена тенденций, до – техническая скорость автобуса выше скорости транспортного потока, после – техническая скорость автобуса ниже скорости транспортного потока, что определяет также и безопасность движения. Анализ процедуры нормирования технической скорости автобусов показал, что нормирование технической скорости в настоящее время не предусматривает учет характеристик транспортного потока, особенно в условиях образования заторов [7].

**Целью исследования является** разработка методики учета образования заторов на перегонах городских улиц при осуществлении нормирования технической скорости в организации городских пассажирских автобусных перевозок.

### Изложение основного материала исследования

Затор представляет собой остановку транспортного потока в условиях максимальной плотности движения. Общие тенденции зависимости интенсивности движения от плотности транспортного потока приведены на рисунке 1 [8].



- 1 – сухое шероховатое покрытие; 2 – мокрое шероховатое покрытие;  
 3 – проезжая часть частично покрыта льдом; 4 – снежный накат; 5 – гололед;  
 цифры на прямых – скорость движения, км/ч

Рисунок 1 – Общие тенденции зависимости интенсивности движения от плотности транспортного потока [8]

Авторами разработана усовершенствованная модель формирования плотности транспортного потока в зависимости от его плотности (по материалам работ [7, 9]):

$$\begin{cases} q = q_{max} \cdot \left(1 - \frac{V}{V_{max}}\right)^{\frac{2}{n+1}}, & n \leq 0, \\ V = V_{св} \cdot \left[ c_{min} \cdot \theta \cdot k_n \cdot k_p \cdot \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_i \right], \end{cases} \quad (1)$$

где  $q$  – текущее значение плотности транспортного потока, авт./м;

$q_{max}$  – максимальное значение плотности транспортного потока, авт./м;

$V$  – текущее значение скорости транспортного потока, м/с;

$V_{max}$  – максимальное значение скорости транспортного потока, м/с;

$V_{св}$  – скорость транспортных средств в свободных условиях, м/с;

$c_{min}$  – наименьшее из значений коэффициентов  $c_i$ , учитывающих изменение скорости движения в результате воздействия какого-то одного из элементов условий перегона городской улицы. Из нескольких минимальных значений  $c_i$  выбирается одно, а влияние других элементов учитывается коэффициентами  $k_i$ , ед. [9];

$\theta$  – коэффициент, учитывающий влияние интенсивности движения и состава транспортного потока, ед. [9];

$k_n$  – коэффициент, учитывающий влияние продольных уклонов перегона городской улицы, ед. [9];

$k_p$  – коэффициент, учитывающий наличие перекрестков в одном уровне, ед. [9];

$k_i$  – коэффициент, учитывающий изменение скорости движения в результате воздействия нескольких элементов условий городской улицы без учета элемента, оказывающего наибольшее влияние на снижение скорости движения, ед. [9].

Предлагается с математической точки зрения принять за основу модель (1), с условием, что плотность транспортного потока, где формируются заторы, составляет более 0,5 от максимального значения.

Получим условие возможного образования заторов в транспортном потоке и при этом необходимого уровня, технической скорости на перегонах городских улиц:

$$\begin{cases} q \geq 0,5 \cdot q_{max}, \\ V_m \leq V = \left(1 - 0,5^{\frac{n+1}{2}}\right) \cdot V_{max}, \end{cases} \quad (2)$$

$V_m$  – техническая скорость автобуса.

Далее необходимо провести исследование методики нормирования технической скорости автобусов на городских маршрутах с целью ее усовершенствования, путем внедрения учета полученного условия возможного образования заторов в транспортном потоке.

Принято техническую скорость автобуса определять по следующей формуле [2, 3]:

$$V_m = \frac{L}{\sum t_1 + \sum t_2 + \sum t_3 + \sum t_4 + \sum t_5}, \quad (3)$$

где  $L$  – пройденное автобусом расстояние по участку улицы, км;

$t_1$  – время на разгон автобуса, ч;

$t_2$  – время движения автобуса с постоянной скоростью, ч;

$t_3$  – время на замедление автобуса, ч;

$t_4$  – время на торможение автобуса, ч;

$t_5$  – время, затрачиваемое автобусом на кратковременные остановки, связанные с организацией дорожного движения, ч.

По полученным в работе результатам, с учетом формализованных значений времени формулы для расчета технической скорости, получим следующие уравнения:

$$\begin{cases} \frac{L - \sum l}{V_{ог}} = \frac{L}{V_m} - \left[ \sum t_1 + \sum t_3 + \sum t_4 + \sum t_5 + \sum_j^m t_6 \right], \\ t_1 = t_{p1} + t_{c1} + \frac{V_{ог}}{a_1}, \\ t_3 = t_{p3} + t_{2,3} + 0,5 \cdot t_{3,3} + \frac{V_{ог} - V_3}{j_3}, \\ t_4 = t_{p4} + t_{2,4} + 0,5 \cdot t_{3,4} + \frac{V_{ог}}{j_4}, \\ t_5 = \left[ t_{p5} + t_{2,5} + 0,5 \cdot t_{3,5} + \frac{V_{ог}^2}{j_5} \right] \cdot n_{одд} + \sum_{i=1}^{n_{одд}} t_{ki}. \end{cases} \quad (4)$$

где  $t_p$  – время реакции водителя;

$t_2$  – время срабатывания тормозной системы автобуса;

$t_3$  – время нарастания замедления автобуса;

$V_{об}$  – конечная скорость автобуса, с которой он далее будет следовать по перегону маршрута;

$V_3$  – скорость автобуса на момент завершения маневра замедления;

$j$  – замедление автобуса;

$\sum_j^m t_6$  – суммарные дополнительные затраты времени на ожидание разъездов заторов

на улично-дорожной сети по соответствующим перегонам маршрута.

Полученные авторами результаты теоретических исследований позволяют сформулировать методику усовершенствования организации городских пассажирских автобусных перевозок с учетом образования заторов на перегонах улиц.

Методика предполагает следующие этапы реализации.

Этап 1. Сбор необходимых исходных данных.

Перечень дополнительных исходных данных для осуществления предложенных расчетов:

$V_{об}$  – реальная скорость движения по перегону маршрута, км/ч;

$\sum l$  – сумма расстояний на перегоне маршрута длиной  $L$ , на которых водитель авто-

буса осуществлял маневрирование в периоды времени  $[\sum t_1 + \sum t_3 + \sum t_4 + \sum t_5]$ , км;

$n_{одд}$  – количество элементов схемы организации дорожного движения, требующих остановки автобуса на перегоне между остановками маршрута, ед.;

$t_{k_i}$  – длительности горения красных сигналов светофорных объектов на перегоне между остановками маршрута, с;

$\sum_{i=1}^{n_{одд}} t_{k_i}$  – суммарное время простоя автобуса по требованию элементов схемы организа-

ции дорожного движения, с;

$t_{p3}, t_{p5}$  – время реакции водителя на необходимость начала осуществления замедления автобуса, с;

$t_{3,4,5}$  – время нарастания замедления автобуса, с;

$j_3, j_4, j_5$  – замедление автобуса, м/с<sup>2</sup>; с учетом рекомендаций, указанных выше значение замедления необходимо принимать в пределах 1,5–1,9 м/с<sup>2</sup>;

$t_{p4}$  – время реакции водителя на необходимость начала осуществления торможения автобуса, с;

$t_{2,3,4,5}$  – время срабатывания тормозной системы автобуса, с;

$V_3$  – скорость автобуса на момент завершения маневра замедления, м/с;

$t_{p1}$  – время реакции водителя автобуса при осуществлении маневра разгона, с;

$t_{c1}$  – время срабатывания органов управления автобуса при осуществлении маневра разгона, с;

$a_1$  – ускорение автобуса при осуществлении маневра разгона, м/с<sup>2</sup>; как указывалось выше, приблизительно значение данного ускорения равно 0,8–1,0 м/с<sup>2</sup>.

$L$  – пройденное расстояние автобусом по участку улицы, км.

Этап 2. Применение графоаналитического метода при распределении автобусов по часам движения на маршруте. С исключением планирования дефицита, т. к. предполагаются в указанные часы суток появления заторов на участках улично-дорожной сети.

Этап 3. Проведение нормирования технической скорости движения на маршруте по стандартной методике и проверка условия на образование заторов по формуле (2).

Этап 4. Проведение нормирования технической скорости движения на маршруте по разработанной методике, для периодов времени суток, когда наблюдается образование заторов на перегонах улиц:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_m = \frac{L}{\frac{L - \sum l}{3,6 \cdot V_{\text{ог}}} + \left[ \frac{\sum t_1 + \sum t_3 + \sum t_4 + \sum t_5}{3600} + \sum_j^m t_6 \right]}, \\ t_1 = t_{p1} + t_{c1} + \frac{V_{\text{ог}}}{a_1}, \quad t_3 = t_{p3} + t_{2,3} + 0,5 \cdot t_{3,3} + \frac{V_{\text{ог}} - V_3}{j_3}, \\ t_4 = t_{p4} + t_{2,4} + 0,5 \cdot t_{3,4} + \frac{V_{\text{ог}}}{j_4}, \quad t_5 = \left[ t_{p5} + t_{2,5} + 0,5 \cdot t_{3,5} + \frac{V_{\text{ог}}^2}{j_5} \right] \cdot n_{\text{одд}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{одд}}} t_{k_i}, \\ \sum_j^m t_6 = \sum_j^m t_m + \sum_j^m t_p, \\ t_m = \frac{N_{\text{max}} - N_p}{N_t \cdot 3600}, \\ N_p = 626 + 5,17 \cdot p + 0,0065 \cdot p^2, \\ 3600 \cdot N_t \cdot t_p^2 + (N_t \cdot t_m + N_p - N_m) \cdot t_p - n_{\text{оч}} = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Этап 5. Уточнение значений времени оборота, а также необходимого количества автобусов и интервалов их движения на маршруте после нормирования технической скорости по разработанной методике, для периодов времени суток, когда наблюдается образование заторов на перегонах улиц.

Этап 6. Выполнение дальнейших расчетов по классической методике.

Для проведения экспериментальных исследований был принят автобусный маршрут № 73 «Проспект Партизанский – микрорайон Широкий», проходящий по центру города Донецка по улице Университетской в условиях плотного транспортного потока с очагами образования заторов (рисунки 1 и 2). Важной особенностью экспериментальных исследований является наличие одностороннего движения транспортного потока по улице Университетской и отдельной маршрутной полосы движения в обратном направлении, т. е. возникает непосредственная возможность сравнить характеристики движения маршрутного транспорта в свободных условиях и в условиях плотного городского транспортного потока на одних и тех же перегонах улиц.

Из рисунков 1–4 видно, что техническая скорость на маршруте нормируется около значения равного 30 км/ч, в прямом и обратном направлениях. В обратном направлении на отдельных перегонах появляется необходимость нормирования с учетом образования заторов в транспортном потоке, техническая скорость нормируется около значения равного 20 км/ч. Проведенный корреляционный анализ данных на рисунке 4 показал, что значение коэффициента корреляции составило 0,787, при этом для 33 пар точек и доверительной вероятности 95 % нормативное значение коэффициента корреляции составляет 0,423 [10],  $0,787 > 0,423$ , следовательно, гипотеза об адекватности разработанной методики подтверждается.

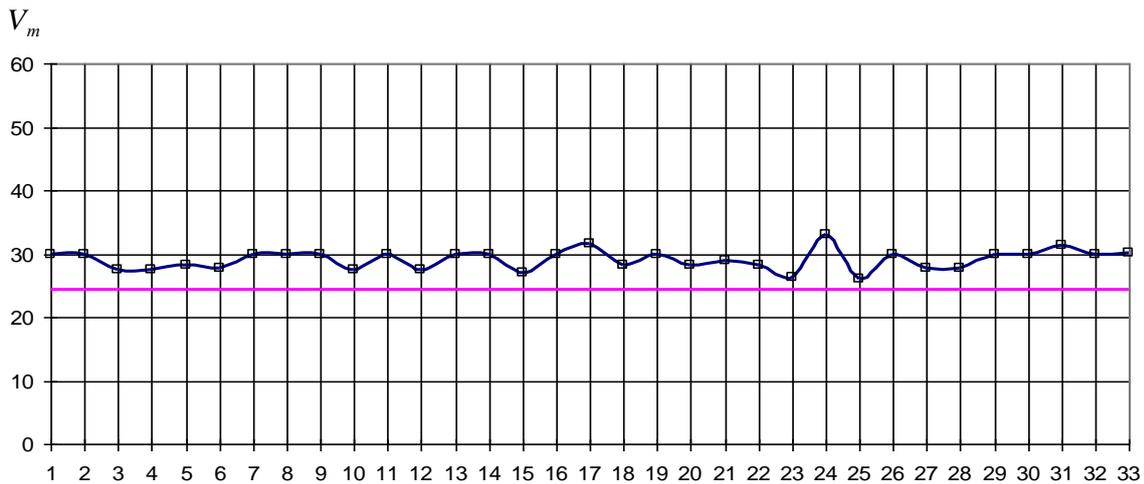


Рисунок 1 – Изменение скорости движения подвижного состава на автобусном маршруте № 73 и расчетное значение скорости из условия начала образования заторов по перегонам в прямом направлении (по маршрутной полосе)



Рисунок 2 – Изменение скорости движения подвижного состава на автобусном маршруте № 73 и расчетное значение скорости из условия начала образования заторов по перегонам в обратном направлении (в трехрядном транспортном потоке)

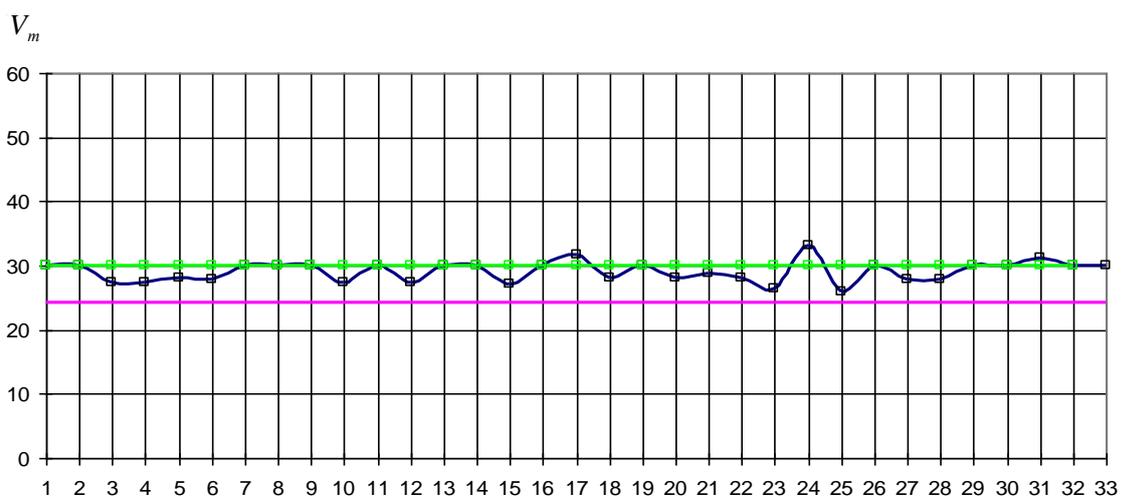


Рисунок 3 – Изменение скорости движения подвижного состава на автобусном маршруте № 73, нормированная техническая скорость по разработанной методике и расчетное значение скорости из условия начала образования заторов по перегонам в прямом направлении (по маршрутной полосе)

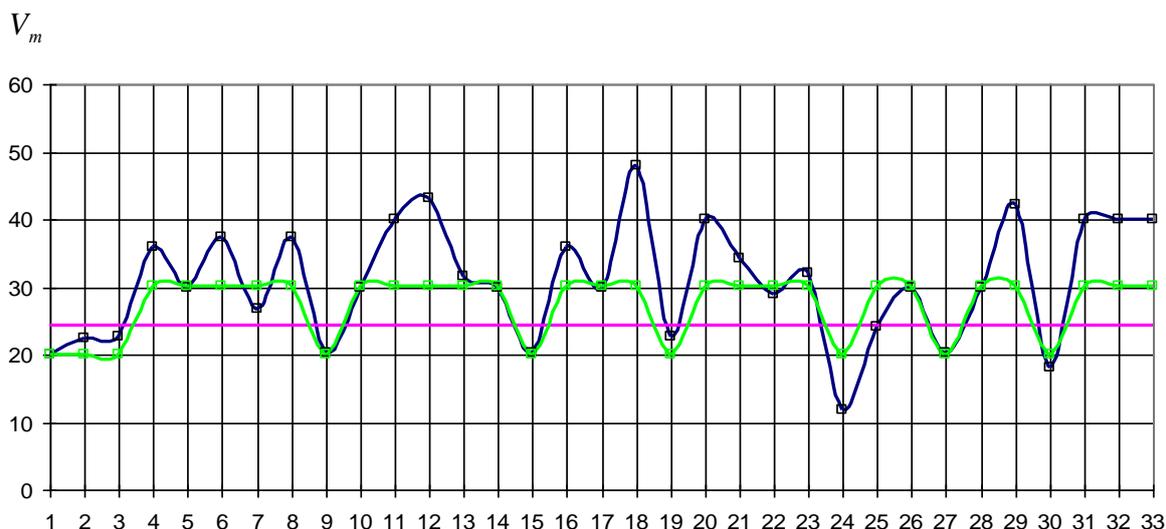


Рисунок 4 – Изменение скорости движения подвижного состава на автобусном маршруте № 73, нормированная техническая скорость по разработанной методике и расчетное значение скорости из условия начала образования заторов по перегонам в обратном направлении (в трехрядном транспортном потоке)

### **Выводы**

В работе сформулированы теоретические основы нормирования технической скорости автобусов на городских маршрутах с учетом образования заторов в транспортном потоке. Проведена формализация процесса нормирования технической скорости на автобусном маршруте по перегонам между его остановками. В формулы введены суммарные дополнительные затраты времени на ожидание разъездов заторов на улично-дорожной сети по перегонам маршрута. Проведена формализация суммарных дополнительных затрат времени на ожидание разъездов заторов на улично-дорожной сети по перегонам маршрута. Выведены формулы расчета времени разъезда образовавшегося затора, которые позволяют учесть образование заторов в методике нормирования технической скорости.

### **Список литературы**

1. Воронков, С. А. Метод определения эксплуатационных нормативов движения маршрутных автобусов в крупных городах: автореф. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. А. Воронков. – Москва : НИИАТ, 1990. – 20 с.
2. Спирин, И. В. Перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом / И. В. Спирин. – Москва : Академкнига, 2004. – 413 с. – ISBN 5-94628-050-3.
3. Варелопуло, Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г. А. Варелопуло. – Москва : Транспорт, 1990. – 208 с.
4. Чернова, Г. А. Определение связи между изменением технической скорости и интенсивности транспортного потока подвижного состава / Г. А. Чернова, М. В. Власова // Известия ВолгГТУ. – 2010. – Т. 10(70), № 3. – С. 110–113.
5. Чернова, Г. А. Применение математической статистики в организации перевозок пассажиров общественным транспортом / Г. А. Чернова, В. Б. Светличная, М. В. Великанова // Известия ВолгГТУ. – 2014. – Т. 9, № 19(146). – С. 77–80.
6. Давидич, Ю. А. Нормирование скорости движения городского пассажирского транспорта с учетом характеристик маршрута / Ю. А. Давидич, М. В. Калужный // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2012. – № 1(14). – С. 11–17.
7. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю ; пер. с англ. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с.
8. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 352 с. – ISBN 978-5-7695-4864-2.

9. Методические рекомендации по оценке проектных решений автомобильных дорог по скорости движения. – Текст : электронный / Министерство транспортного строительства ; Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт СОЮЗДОРНИИ. – URL: <http://www.gosthelp.ru/text/metodicheskierekomendacii163.html> .
10. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – ISBN 978-5-9221-0707-5.

*А. Н. Дудников, Н. Н. Дудникова, В. В. Бабенко*  
*Автомобильно-дорожный институт*  
**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**  
**Усовершенствование организации городских пассажирских автобусных перевозок**  
**с учетом возможного образования заторов на перегонах улиц**

Проведенный анализ существующих исследований в области учета влияния характеристик транспортного потока на организацию городских пассажирских автобусных перевозок показал следующее. Из рассмотренных процессов, влияющих на организацию городских автобусных перевозок, выделен в качестве основного процесс движения транспортных потоков по перегонам городских улиц. Время движения между остановочными пунктами с учетом расстояния между указанными пунктами формируется в виде технической скорости движения автобусов на перегонах маршрута, что формирует расписание движения подвижного состава. В условиях движения в составе транспортных потоков, указанное выше время может увеличиваться за счет снижения скорости транспортных потоков, вплоть до образования заторов. Следовательно учет образования заторов на перегонах городских улиц необходим при нормировании технической скорости автобусов.

Анализ современных исследований показал, что скорость транспортного потока оказывает определяющее воздействие на формирование технической скорости автобусов на перегоне маршрута. При этом связь имеет вид линейной, в области 30 км/ч наблюдается смена тенденций, до – техническая скорость автобуса выше скорости транспортного потока, после – техническая скорость автобуса ниже скорости транспортного потока, что определяет также и безопасность движения. Анализ процедуры нормирования технической скорости автобусов показал, что нормирование технической скорости в настоящее время не предусматривает учет характеристик транспортного потока, особенно в условиях образования заторов.

Разработана новая методика нормирования технической скорости автобусов в условиях городских пассажирских перевозок, которая учитывает возможность образования заторов на перегонах улиц. Методика позволяет рассчитать время и условия существования затора на перегонах, а также заложить указанное время в расчеты технической скорости, как вынужденный простой.

**ПЕРЕВОЗКА ГОРОДСКАЯ АВТОБУСНАЯ, СКОРОСТЬ ТЕХНИЧЕСКАЯ, ПЕРЕГОН УЛИЦЫ ГОРОДСКОЙ, ОБРАЗОВАНИЕ ЗАТОРА, ВРЕМЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЗАТОРА**

*A. N. Dudnikov, N. N. Dudnikova, V. V. Babenko*  
*Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Improvement of the Urban Passenger Bus Transport Organization, Taking into Account the**  
**Congestion Formation on the Streets**

The conducted analysis of the existing studies in the field of the traffic flow characteristics influence on the organization of the urban passenger bus transportation has showed the following. From the considered processes affecting the organization of the urban bus transportation, the main process of traffic flows along the city streets is singled out as the main process. The traveling time between the stopping points, taking into account the distance between these points, is formed in the form of the buses technical speed on the route sections, which forms the schedule of the rolling stock. In conditions of the movement in the traffic flows, the above time can increase, due to the decrease in the speed of traffic flows, up to the formation of congestion. Therefore, it is necessary to take into account the congestion formation on the sections of city streets when standardizing the technical speed of buses.

The analysis of modern studies has shown that the speed of the traffic flow has a decisive effect on the formation of the buses technical speed on the route span. At the same time, the connection has the form of linear. In the area of 30 km / h, the change in trends is observed, before it – the technical speed of the bus is higher than the speed of the transport flow, after it – the technical speed of the bus is lower than the speed of the traffic flow, which also

determines the safety of traffic. The analysis of the procedure for standardizing the technical speed of buses has showed that currently, the standardization of the technical speed does not provide for the characteristics of the traffic flow, especially in conditions of congestion.

A new technique for standardizing the technical speed of buses in the conditions of the urban passenger traffic, which takes into account the possibility of congestion on the street sections is developed. The technique allows calculating the time and conditions for the congestion on the spans, as well as incorporating the specified time into the calculations of the technical speed, as a forced downtime.

URBAN BUS TRANSPORTATION, TECHNICAL SPEED, CITY STREET SPAN, CONGESTION FORMATION, CONGESTION TIME

**Сведения об авторах:**

**А. Н. Дудников**

SPIN-код РИНЦ: 8393-4943  
Телефон: +38 (071) 301-98-50  
Эл. почта: ANdudnikov@rambler.ru

**В. В. Бабенко**

Телефон: +38 (071) 349-86-97  
Эл. почта: Babenko\_vvv@mail.ru

**Н. Н. Дудникова**

SPIN-код РИНЦ: 1424-1363  
Телефон: +38 (071) 412-79-04  
Эл. почта: DudnikovaNN@rambler.ru

*Статья поступила 30.08.2021*

*© А. Н. Дудников, Н. Н. Дудникова, В. В. Бабенко, 2021*

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