



Увеличение скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах



Михаил ГРЯЗНОВ



Кирилл ДАВЫДОВ

*Грязнов Михаил Владимирович – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Давыдов Кирилл Александрович – ООО «Автодоркомплект», Магнитогорск, Россия*.*

В статье обозначены актуальные направления повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом за счёт использования современных цифровых технологий контроля и управления загруженностью дорожной сети, организации уличного движения, оценки надёжности перевозочного процесса.

Цель работы – развитие теоретической базы и разработка практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах городского транспорта в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог. Теоретические исследования выполнены на основе анализа научной и нормативно-технической литературы, системного анализа транспортных процессов. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и дорожных условиях с использованием математи-

ческого моделирования, методов математической статистики, технико-экономического и системного анализа транспортных процессов, анализа пассажиропотоков, натуральных наблюдений.

Получены зависимости скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, технической скорости движения автобуса по дополнительным дорогам от интенсивности потока маршрутных транспортных средств. Для условий г. Магнитогорска рассчитан экономический эффект от практической реализации предлагаемых рекомендаций. Так, посредством перенаправления автобусов на дороги-дублёры в период пиковой загрузки дорожной сети обоснована возможность увеличения скорости сообщения на 7 км/ч, что позволит сократить потребности в автобусах на 2 единицы и получить расчётный экономический эффект.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, городская дорожная сеть, регулярный автобусный маршрут, скорость сообщения.

*Информация об авторах:

Грязнов Михаил Владимирович – доктор технических наук, доцент Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, gm-autolab@mail.ru.

Давыдов Кирилл Александрович – менеджер филиала ООО «Автодоркомплект», Магнитогорск, Россия, davyd_mazda@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.10.2019, актуализирована 10.12.2019, принята к публикации 17.12.2019.

For the English text of the article please see p. 212.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности перевозок пассажиров городским транспортом является важной социально-экономической проблемой. Одним из направлений решения данной проблемы, активно обсуждаемых в настоящее время специалистами, является ускорение потока маршрутных транспортных средств, позволяющих увеличить скорость сообщения. В современной отечественной и иностранной научной литературе предлагаются методические рекомендации, направленные на ускорение потока городского транспорта за счёт использования навигационных диспетчерских систем, цифровых технологий для оценки заторов маршрутных потоков, индивидуальных средств мобильной связи для оценки состояния трафика и потерь времени пассажирами в пути следования [1–4].

Большое количество работ посвящено организации уличного движения с целью увеличения пропускной способности городской дорожной сети, включая регулярную маршрутную сеть городского транспорта. Например, на основе аналитических методов, авторами в работах [5–7] предлагаются рекомендации по организации работы остановочно-пересадочных пунктов на регулярных маршрутах городского транспорта, управлению продолжительностью преодоления транспортным потоком регулируемых пересечений, оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта.

Следует также уделить внимание работам [8; 9], в которых предлагается методическая база оценки надёжности перевозки пассажиров городским транспортом. Предлагаемые авторами рекомендации дают возможность количественно обосновать такой параметр качества транспортного обслуживания населения, как надёжность, в большинстве случаев оцениваемый качественными характеристиками.

Несмотря на всестороннюю исследованность рассматриваемой проблемы, реализация предлагаемых методов по ускорению маршрутных транспортных средств требует их доводки и настройки под индивидуальные особенности планировочных решений дорожной сети конкретного города, зачастую не имеющего

резервов территорий под дорожное строительство.

Поэтому целью данной работы является развитие теоретической базы и разработка практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах городского транспорта в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог. Развитие теоретической базы, представляющей научную новизну, состоит в установлении зависимостей скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, а также технической скорости движения автобуса по дополнительным дорогам от интенсивности потока маршрутных транспортных средств. *Практическая значимость* работы заключается в разработке практических рекомендаций по повышению скорости сообщения на примере регулярной маршрутной сети Магнитогорска.

В работе использовались методы, широко применяемые в исследованиях. Анализ научной и нормативно-технической литературы позволил установить глубину проработки проблемы повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом, определить существующие методики расчёта скорости транспортного потока, сформулировать цель настоящего исследования. Системный анализ транспортных процессов позволил установить влияние загруженности дорожной сети движением на скорость транспортного потока.

Математическое моделирование обеспечило выполнение многократных расчётов скорости транспортного потока при различных режимах проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков с учётом разного уровня загруженности дорожной сети движением. По результатам моделирования с использованием статистического анализа были построены искомые зависимости, оценена достоверность аппроксимации и установлены уравнения регрессии.

Исходные данные для проводимых расчётов, а также для установления критических по уровню загрузки участков дорожной сети Магнитогорска были получены натурными наблюдениями за транспортными потоками по городским автодорогам, а также непосредственным подсчётом



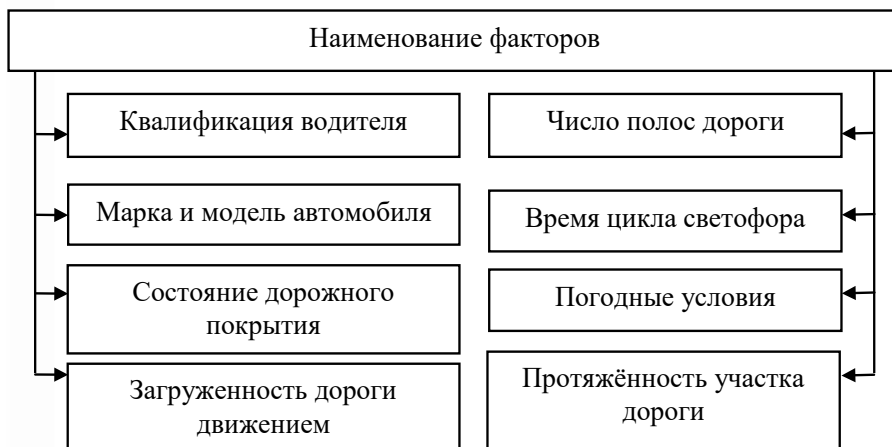


Рис. 1. Факторы, влияющие на скорость транспортного потока.

корреспонденций пассажиропотоков на регулярных маршрутах городского транспорта. Техничко-экономический анализ позволил обосновать целесообразность практической реализации методического инструментария по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах в периоды загрузки городской дорожной сети за счёт использования дополнительных дорог.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффект снижения затрат на перевозку пассажиров при направлении автобусов на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети достигается сокращением числа автобусов на маршруте для выполнения перевозок с заданным интервалом движения в результате увеличения скорости сообщения. Скорость сообщения определяется скоростью потока транспортных средств, на величину которой влияют факторы, представленные на рис. 1.

Методики расчёта скорости потока транспортных средств в большом разнообразии приведены в научной и учебной литературе. Например, в работе [10, с. 6] предлагается производить расчёт усреднённой скорости по формуле:

$$V_{cp.} = \frac{l_{уч.}}{t_a^{cp.}}, \tag{1}$$

где $l_{уч.}$ – длина сегмента, км;
 $t_a^{cp.}$ – среднее время проезда сегмента автомобилями, ч.

Время проезда сегмента автомобилем включает задержки в движении по причи-

не прерываний потока из-за действия регулирующих сигналов или возникновения заторов:

$$t_a = t_p + t_{дв.} + t_o + t_{ож}, \tag{2}$$

где t_p – время разгона транспортного средства до максимально разрешённой скорости, с;

$t_{дв.}$ – время движения транспортного средства по участку с максимально разрешённой скоростью, с;

t_o – остановочное время, с;

$t_{ож.}$ – время ожидания проезда затора на перекрёстке, с.

Время разгона транспортного средства до максимально разрешённой скорости является справочной величиной, остальные компоненты формулы (2) рассчитываются. Время движения транспортного средства по участку с максимально разрешённой скоростью определяется по формуле:

$$t_{дв} = \frac{l_{уч.} - l_{зат.} - l_o}{V_{макс.}}, \tag{3}$$

где $l_{зат.}$ – длина затора перед перекрёстком, м;

l_o – остановочный путь автомобиля, м;

$V_{макс.}$ – максимально разрешённая скорость движения транспортного средства по участку, м/с.

Остановочный путь автомобиля рассчитывается по формуле:

$$l_o = (t_p + t_c + 0,5 \cdot t_n) \cdot V_0 + \frac{V_0^2 \cdot K_g}{2 \cdot g \cdot \phi_x}, \tag{4}$$

где t_p – время реакции водителя, с;

t_c – время срабатывания тормозной системы, с;

Таблица 1

Варианты расчёта скорости потока транспортных средств при различных режимах проезда транспортными средствами через регулируемые перекрёстки

Первый режим: движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке	
Без затора (интенсивность движения по участку меньше пропускной способности участка)	С затором (интенсивность движения по участку больше пропускной способности участка)
$V_1 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}}}$	$V_1 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$
Второй режим: движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором	
$V_2 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$	
Третий режим: движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке	
Без затора (интенсивность движения по участку меньше пропускной способности участка)	С затором (интенсивность движения по участку больше пропускной способности участка)
$V_3 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}}}$	$V_3 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_p + t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$
Четвёртый режим: движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке	
$V_4 = \frac{l_{\text{уч.}}}{t_{\text{дв.}} + t_o + t_{\text{ож.}}}$	

t_n — время нарастания тормозных сил, с;
 V_0 — начальная скорость торможения, км/ч;

K_3 — коэффициент эффективности торможения;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ϕ_x — коэффициент продольного сцепления колёс автомобиля с дорогой.

Остановочное время — это время, прошедшее от момента, когда водитель заметил препятствие до полной остановки автомобиля, оно определяется по следующей формуле:

$$t_o = t_p + t_c + 0,5 \cdot t_{n0} + \frac{V_0 \cdot K_3}{g \cdot \phi_x} \quad (5)$$

Время ожидания проезда затора во время действия разрешающего сигнала светофора на перекрёстке определяется по формуле:

$$t_{\text{ож}} = I_1 + (n_{\text{разг.}} - 1) \cdot I_p + n_{\text{макс.}} \cdot I_{\text{макс.}} \quad (6)$$

где I_1 — продолжительность пересечения стоп-линии первым транспортным средством после начала движения, с;

$n_{\text{разг.}}$ — количество транспортных средств, которые пересекают стоп-линию во время разгона до максимально допустимой скорости с момента включения разрешающего сигнала светофора;

I_p — интервал между передними бамперами транспортных средств при прохождении стоп-линии во время разгона потока до максимально допустимой скорости;

$n_{\text{макс.}}$ — количество транспортных средств, которые пересекают стоп-линию во время максимально допустимой скорости с момента включения разрешающего сигнала светофора;

$I_{\text{макс.}}$ — интервал между передними бамперами транспортных средств при прохождении



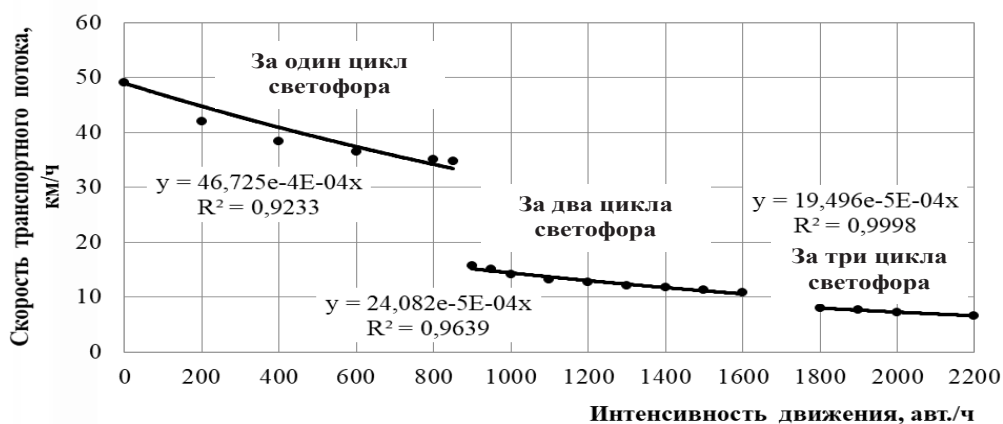


Рис. 2. Зависимость скорости транспортного потока от интенсивности движения.

дении стоп-линии во время максимально допустимой скорости, с.

Для движения доступен только период времени зелёного сигнала светофора. Наличие разрешающего сигнала светофора на момент подъезда транспортного средства к перекрёстку будет определять скорость потока транспортных средств. Поэтому в расчётах были рассмотрены четыре режима проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков. Скорость потока транспортных средств предлагается рассматривать как среднюю величину скорости проезда транспортным средством перекрёстка при четырёх режимах.

Первый режим: движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок с работающего зелёного сигнала светофора (начальная скорость 60 км/ч) и доезжает до затора на следующем перекрёстке в момент загорания зелёного сигнала светофора или проезжает перекрёсток, если нет затора в данное время.

Второй режим: движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором. Транспортное средство въезжает на участок после ожидания включения зелёного сигнала светофора (начальная скорость 0 км/ч) и доезжает до следующего перекрёстка, на котором образовался затор по причине ожидания разрешающего движение сигнала.

Третий режим: движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем

перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок после ожидания включения зелёного сигнала светофора (начальная скорость 0 км/ч) и доезжает до затора на следующем перекрёстке в момент загорания зелёного сигнала светофора или проезжает перекрёсток, если нет затора в данное время.

Четвёртый режим: движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке. Транспортное средство въезжает на участок с работающего зелёного сигнала светофора (начальная скорость 60 км/ч) и доезжает до следующего перекрёстка, на котором образовался затор по причине ожидания разрешающего движение сигнала.

Варианты расчёта скорости транспортного потока при различных режимах проезда транспортными средствами через регулируемые перекрёстки приведены в табл. 1.

Посредством расчётов по приведённой в табл. 1 методике была получена зависимость скорости потока транспортных средств от интенсивности движения для трёх уровней загрузки участка дорожной сети, когда транспортное средство преодолевает затор перед регулируемым перекрёстком соответственно за один, два и три цикла светофора (рис. 2).

Кроме того, на основе математического моделирования была установлена зависимость технической скорости движения автобусов по дополнительным дорогам городской дорожной сети в период её загрузки от интенсивности потока маршрутных транспортных средств (рис. 3).

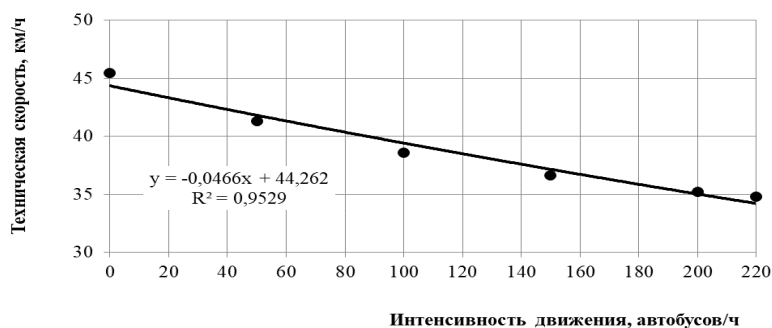


Рис. 3. Зависимость технической скорости движения автобусов по дополнительной дороге от интенсивности потока маршрутных транспортных средств.

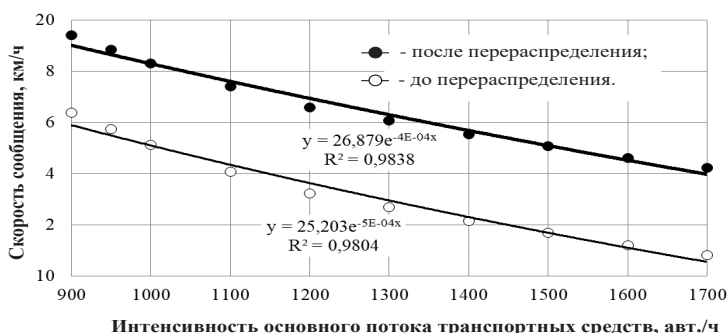


Рис. 4. Изменение средней скорости сообщения движения автобусов при их направлении на дополнительные дороги дорожной сети Магнитогорска.

Зависимость была получена для условий светофорного регулирования возврата маршрутных транспортных средств с дополнительной дороги на основной участок городской дорожной сети после объезда затора. Установленные зависимости необходимы для расчёта скорости сообщения, требуемого количества автобусов на маршруте и получаемого экономического эффекта от реализации рекомендаций по направлению маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети.

Скорость сообщения зависит также от планировочных решений городской дорожной сети. Эти планировочные решения индивидуальны для каждого муниципального образования. В данной работе был произведён анализ дорожной сети Магнитогорска в части определения мест возможного ускорения потока маршрутных транспортных средств за счёт его перераспределения на дополнительные дороги.

В Магнитогорске дороги-дублёры имеют участки дорожной сети в южной части проспектов Карла Маркса и Ленина, а также в центральной части улиц Труда и 50-летия Магнитки. По этим участкам пролегают трассы регулярных автобусных маршрутов,

и в этих местах имеется возможность ускорения потока маршрутных транспортных средств. По результатам проведённого анализа и расчётов было установлено, что перераспределение маршрутных автобусов на дополнительные дороги увеличивает скорость сообщения на регулярных автобусных маршрутах в среднем на 4 км/ч (рис. 4).

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обоснование целесообразности практической реализации методического инструментария по повышению скорости сообщения на регулярных автобусных маршрутах за счёт направления маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети был произведён на примере автобусного маршрута № 33 Магнитогорска. Рассматриваемый автобусный маршрут связывает южные районы города с его юго-восточной окраиной в левобережной части. Маршрут является маятниковым. Его протяжённость в прямом и обратном направлениях равна 36,2 км. На маршруте эксплуатируются автобусы ГАЗ-322132 и Citroen Jumper.

Анализ загруженности в течение суток участков городской дорожной сети, по



Результаты расчёта интенсивности потока транспортных средств по проспекту Карла Маркса, авт./ч [11]

Участки дорожной сети	Периоды суток								
	9:00–12:00			12:00–15:00			15:00–18:00		
	Прямое направление	Обратное направление	Сумма	Прямое направление	Обратное направление	Сумма	Прямое направление	Обратное направление	Сумма
1. Вокзальная–Московская	438	330	768	300	240	540	384	342	726
2. Московская–Первомайская	600	354	954	468	360	828	534	372	906
3. Первомайская–Уральская	624	468	1092	570	474	1044	690	468	1158
4. Уральская–Комсомольская	588	594	1182	450	642	1092	642	582	1224
5. Комсомольская–Ленинградская	630	720	1350	702	732	1434	786	636	1422
6. Ленинградская–Татищева	513	684	1197	960	906	1866	768	720	1488
7. Татищева–Гагарина	510	726	1236	774	696	1470	786	714	1500
8. Гагарина–им. Газеты «Правда»	536	678	1214	1014	942	1956	906	882	1788
9. им. Газеты «Правда»–Дружбы	576	894	1470	954	882	1836	960	924	1884
10. Дружбы–магазин «Весна»	551	720	1271	816	918	1734	864	900	1764
11. Магазин «Весна»–Грязнова	574	774	1348	966	828	1794	960	870	1830
12. Грязнова–Советской Армии	554	1014	1568	1074	948	2022	1038	978	2016
13. Советской Армии–Сталеваров	1256	1044	2300	1348	710	2058	1752	645	2397,855
14. Сталеваров–Завенягина	1200	1065	2265	1300	736	2036	1690	669	2359,091
15. Завенягина–ост. Энгельса	968	650	1618	1276	600	1876	1659	545	2204,255
16. ост. Энгельса–Бориса Ручьёва	960	680	1640	1210	612	1822	1573	556	2129,364
17. Бориса Ручьёва–Труда	856	920	1776	972	952	1924	1264	865	2129,055
18. Труда–50-летия Магнитки	580	464	1044	720	692	1412	936	629	1565,091
19. 50-летия Магнитки – Зелёный Лог	512	532	1044	724	612	1336	941	556	1497,564
Итого:	13026	13311	26337	16598	13482	30080	19133	12855	31988

которым пролегает трасса дублирующего маршрута № 33, позволила определить критический участок на проспекте Карла Маркса (табл. 2).

Таким участком является отрезок проспекта от улицы Сталеваров до улицы Труда, на котором в пиковый период суток с 15:00 по 18:00 средняя скорость потока транспортных средств снижается до 11 км/ч, что приводит к образованию заторов на пересечениях и увеличению времени доставки пассажиров маршрутным транспортом. В эти периоды суток целесообразно направлять автобусы рассматриваемого маршрута с основной дороги на дороги-дублёры, расположенные вдоль проспекта Карла Маркса на участках:

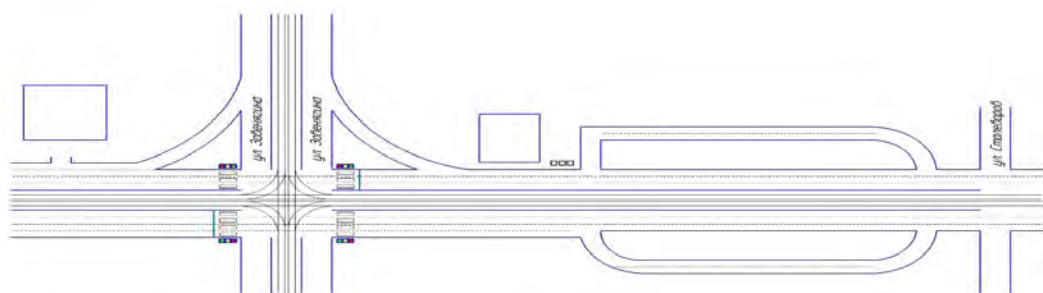
- от улицы Сталеваров до улицы Завенягина;
- от улицы Завенягина до остановки Энгельса;
- от остановки Энгельса до улицы Бориса Ручьёва;
- от улицы Бориса Ручьёва до улицы Труда.

Система движения маршрутных транспортных средств по дорогам-дублёрам

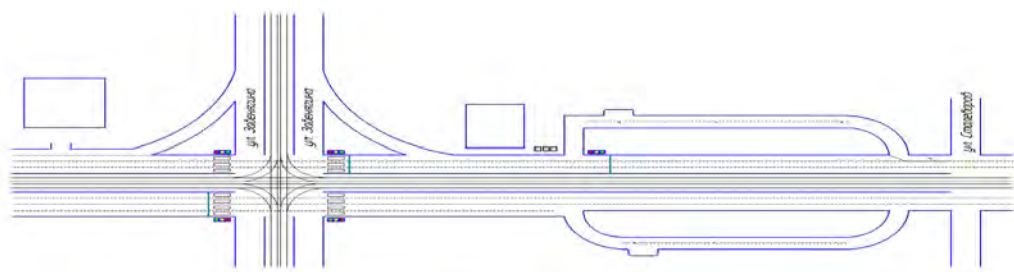
требует организации светофорного регулирования возврата автобусов с дополнительных дорог на основную дорожную сеть. Это связано с затратами на приобретение и монтаж светофорных узлов, места установки которых показаны на схемах (рис. 5–7). Кроме того, необходимо будет перенести существующий светофорный узел от остановки «Зори Урала» до пересечения дороги-дублёра с главной дорогой проспекта на участке ул. Сталеваров–ул. Завенягина. Это необходимо для того, чтобы пропустить автобус с дублёра на основную дорогу без задержки потока транспортных средств.

Результаты технико-экономического анализа существующего и предлагаемого вариантов организации работы автобусного маршрута № 33 приведены в табл. 3.

Проведённые расчёты позволили установить, что направление в периоды пиковой загрузки участков в южной части проспекта Карла Маркса на дороги-дублёры в период с 15:00 по 18:00 обеспечивает увеличение скорости сообщения на рассматриваемом автобусном маршруте с 11 км/ч до 18 км/ч. Время проезда рассмат-



а) Существующий вариант

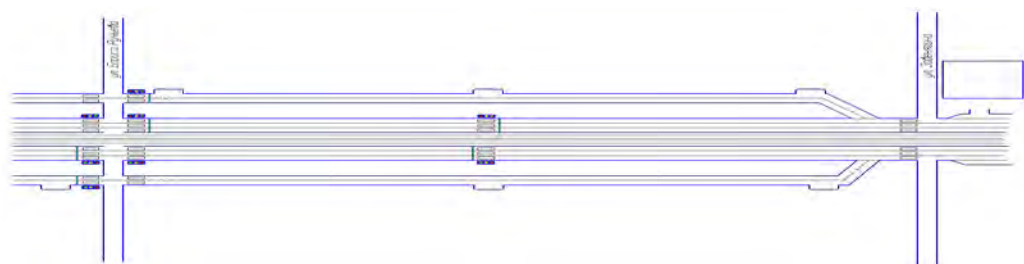


б) Предлагаемый вариант

Рис. 5. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Сталеваров до улицы Завенягина.



а) Существующий вариант



б) Предлагаемый вариант

Рис. 6. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Завенягина до улицы Бориса Ручьева.



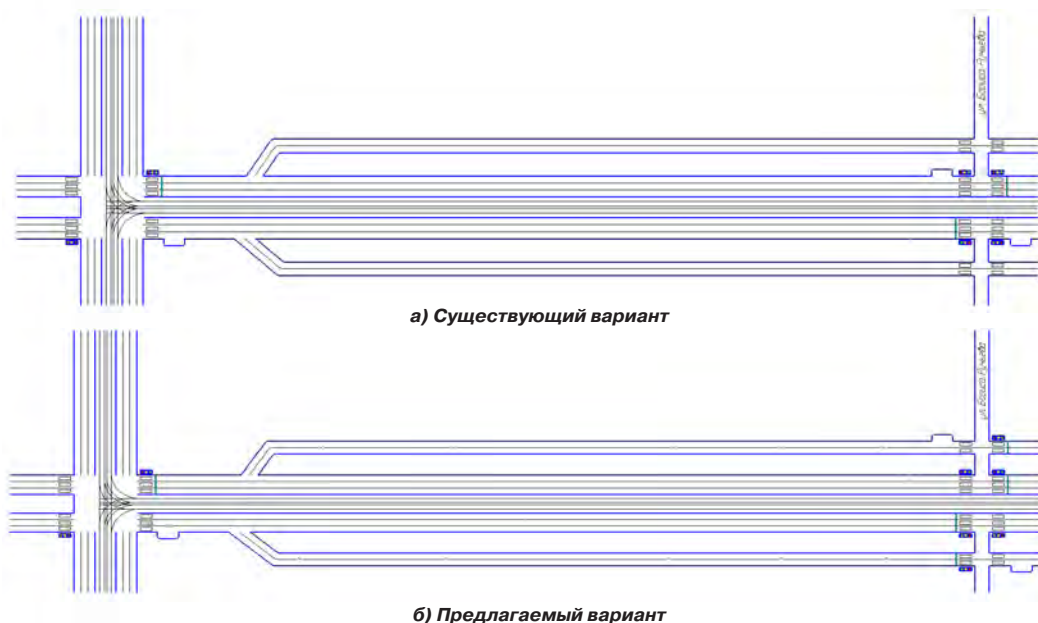


Рис. 7. Схемы организации дорожного движения в Магнитогорске по проспекту Карла Маркса от улицы Бориса Ручьева до улицы Труда.

Таблица 3

**Результаты технико-экономического анализа вариантов
организации работы автобусного маршрута № 33**

Показатель, ед. изм.	Существующий вариант	Предлагаемый вариант
1. Численность автобусов на маршруте, ед.	8	6
2. Годовой объём перевозок, чел.	469111	469111
3. Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.	11680,9	9917,72
4. Затраты на формирование транспортной инфраструктуры, тыс. руб.	—	2553,1
5. Приведённые затраты, тыс. руб./год	11680,9	10428,34
6. Себестоимость перевозок, руб./чел.	24,9	22,23
7. Годовой экономический эффект, тыс. руб.	—	1252,56

риваемого участка сокращается с 15 минут до 9 минут. Такая мера позволит исключить увеличение потребности в автобусах на маршруте на 2 единицы для соблюдения заданного интервала движения и снижения совокупных затрат на перевозку одного пассажира на 2,7 руб. Расчётный годовой экономический эффект от реализации предлагаемых рекомендаций составляет 1,25 млн руб.

Выводы

1. Одним из направлений решения проблемы повышения эффективности перевозок пассажиров городским транспортом является ускорение потока маршрутных транспортных средств за счёт пере-

направления его на дополнительные дороги, дублирующие основные магистрали, в периоды их загрузки движением, что позволяет увеличить скорость сообщения. Несмотря на всестороннюю исследованность рассматриваемой проблемы, реализация предлагаемых методов по ускорению маршрутных транспортных средств требует их доводки и настройки под индивидуальные особенности планировочных решений дорожной сети конкретного города, зачастую не имеющего резервов территорий под дорожное строительство.

2. Эффект снижения затрат на перевозку пассажиров при направлении автобусов на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети достигается сокращени-

ем числа автобусов на маршруте для выполнения перевозок с заданным интервалом движения в результате увеличения скорости сообщения. Расчёт экономического эффекта основан на предложенных в работе зависимостях: скорости потока транспортных средств от интенсивности движения, а также технической скорости движения автобуса по дополнительной дороге — от интенсивности потока маршрутных транспортных средств.

3. Установленные в работе зависимости были получены по результатам моделирования четырёх режимов проезда транспортными средствами регулируемых перекрёстков:

- первый режим — движение с зелёного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке;
- второй режим — движение с красного сигнала светофора на красный сигнал с затором;
- третий режим — движение с красного сигнала светофора на зелёный сигнал при наличии или отсутствии затора на следующем перекрёстке;
- четвёртый режим — движение с зелёного сигнала светофора на красный сигнал при наличии затора на следующем перекрёстке.

В расчётах также учитывались разные уровни загрузки дорожной сети движением, когда транспортное средство преодолевает затор перед регулируемым перекрёстком соответственно за один, два и три цикла светофора.

4. Расчёт экономического эффекта от направления маршрутного транспорта на дополнительные дороги в период загрузки дорожной сети был произведён на примере автобусного маршрута № 33 Магнитогорска. Проведённые расчёты позволили установить, что направление в периоды пиковой загрузки участков в южной части проспекта Карла Маркса на дороги-дублёры в период с 15:00 по 18:00 обеспечивает увеличение скорости сообщения на рассматриваемом автобусном маршруте до 18 км/ч. Время проезда рассматриваемого участка сокращается с 15 минут до 9 минут. Такая мера позволит исключить увеличение потребности в автобусах на маршруте на 2 единицы для соблюдения заданного

интервала движения и снижения совокупных затрат на перевозку одного пассажира на 2,6 руб. Расчётный годовой экономический эффект от реализации предлагаемых рекомендаций составляет 1,25 млн руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефименко Д. Б., Финько Е. В. Использование навигационных диспетчерских систем для развития специализированных сервисов информирования о работе наземного городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. — 2015. — № 5. — С. 6–10.

2. Jia, Lu; Li, Cao. Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Shanghai, China, 2003, Vol. 1, pp. 50–53. [Электронный ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1251919>. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251919>.

3. Schneider, W. Mobile phones as a basis for traffic state information. Proceedings 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 782–784. [Электронный ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1520148>. DOI: 10.1109/ITSC.2005.1520148.

4. Batley, R., Bates, J., Bliemer, M., Böjesson, M. [et al]. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. Transportation, 2019, Vol. 46, pp. 583–621. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>.

5. Арсланов М. А., Минатуллаев Ш. М., Филиппов А. А. Математическая модель организации перевозок пассажиров в остановочно-пересадочных пунктах при многократном изменении пассажиропотока // Вестник СибАДИ. — 2018. — № 15(3). — С. 362–371.

6. Исаков К., Стасенко Л. Н., Алтыбаев А. Ш., Дайырбекова Д. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 16(2). — С. 146–155. [Электронный ресурс]: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/850>. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>.

7. Мочалин С. М., Колебер Ю. А. Перспективы развития методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 6(3). — С. 241–255.

8. Курганов В. М., Грязнов М. В. Управление надёжностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: Монография. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2013. — 318 с.

9. Шаров М. И., Михайлов А. Ю. Оценка надёжности функционирования городского общественного транспорта в городах Российской Федерации // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 16. — С. 302–311. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-302-311>.

10. Лапский, С. Л., Аземша С. А. Эксплуатационные качества транспортных средств: практикум. — Гомель: БелГУТ, 2011. — 312 с.

11. Малюгин П. Н. Теория и моделирование транспортных потоков и систем: конспект лекций по дисциплине «Теория и моделирование транспортных потоков и систем». — Омск: СибАДИ, 2012. — 45 с.

12. Грязнов М. В., Давыдов К. А., Колобанов С. В., Мукаев В. Н., Связинский А. А., Тимофеев Е. А. Результаты мониторинга организации дорожного движения по проспекту Карла Маркса в таблицах и графиках. — Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2017. — 350 с.

