

# СНИЖЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА В ЧАС ПИК НА ВОЗДУШНЫЙ БАСЕЙН В ГОРОДЕ МАГНИТОГОРСКЕ

Орехова Н.Н.<sup>1</sup>, Осинцев Н.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

## Аннотация

В статье рассмотрены экологические аспекты вредного воздействия автотранспорта на воздушный бассейн в городе Магнитогорске. Представлены результаты обследования интенсивности движения транспорта на городских маршрутах и предложен комплекс мероприятий по снижению вредного воздействия городского общественного пассажирского автотранспорта (ГОПТ), включающий возможность выделения в г. Магнитогорске отдельных полос для движения городского общественно-пассажирского транспорта в часы пик; уширения проезжей части; замены автобусов особо малой вместимости на автобусы большой вместимости. Реализация предлагаемых мероприятий для участка улично-дорожной сети по пр. Ленина позволит: повысить скорость доставки пассажиров в часы пик; снизить удельный расход топлива, занимаемую автобусным парком площадь и выбросы вредных веществ при работе ГОПТ на 290 г/мин.

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, автомобильный транспорт, автобусы, экология, маршрутная сеть, выбросы, воздушный бассейн.

*Работа выполнена при финансовой поддержке и в рамках международного образовательного проекта Евросоюза TEMPUS EсоBRU «Экологическое образование для Беларуси, России и Украины» (543707-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES).*

## Введение

В 2015 году комплексный показатель степени загрязнения атмосферы – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) который, рассчитывается как сумма средних концентраций в единицах ПДК с учётом класса опасности соответствующего загрязняющего вещества для Магнитогорска составил 12. Это значение многократно ниже значения ИЗА для Магнитогорска, опубликованного в первом государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды» 1992 года, которое достигало тогда 80.

Несмотря на очевидное улучшение ситуации Магнитогорск постоянно включается в приоритетный список городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха по диоксиду азота, сероуглероду, фенолу, и бенз(а)пирену. Существующий уровень загрязнения атмосферного воздуха соответствует зоне чрезвычайной экологической ситуации.

Основным источником загрязнения воздушного бассейна Магнитогорска является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», выбросы которого составляют около 98% выбросов стационарных источников. Однако всё более значительный вклад в загрязнение окружающей среды вносит индивидуальный и промышленный автомобильный транспорт. Из всего количества вредных веществ, которые выбрасываются в атмосферный воздух города, выбросы стационарных источников составляют 77.6-77.8%, автотранспорта 21.5-22.7%, железнодорожного транспорта – около 0.7% [1].

В настоящее время в г. Магнитогорске проживает

409 тыс. человек и временного населения –10%. Городской общественный пассажирский транспорт представлен трамваями, автобусами большой (АБВ), средней и малой вместимости. Количество трамвайных маршрутов в городе – 34, городских автобусных – 60, пригородных маршрутов – 7. Примерно 70% подвижного состава составляют автобусы особо малой вместимости (АМВ) [2, 6].

Город Магнитогорск располагается на территории в 392.35 км<sup>2</sup>, при этом общая площадь улично-дорожной сети (УДС) составляет 7492.5 тыс. м<sup>2</sup>, в том числе с усовершенствованным покрытием – 6582.8 тыс. м<sup>2</sup>. Основу УДС города и его пространственного каркаса составляют магистральные улицы и дороги.

Ухудшению экологической обстановки способствуют неудовлетворительные условия движения, что приводит к дорожным заторам. В городе Магнитогорске выделяются около 25 участков дороги, на которых каждый день в часы пик образуются заторы, что приводит к повышению расхода топлива транспортных средств, и, как следствие, увеличению выбросов вредных веществ в атмосферу.

Снижение вредного воздействия автотранспорта является одним из приоритетных направлений охраны атмосферного воздуха в городах. К основным экологоориентированным мероприятиям относятся:

- развитие транспортной сети, исключаящее движение через город транзитного и грузового транспорта;
- техническое перевооружение транспортных средств, модернизация существующих и создание принципиально новых двигателей, работающих на традиционном качественном и альтернативных видах топлива;
- организация защитных зелёных полос из газо-

- устойчивых насаждений вдоль магистралей;
- развитие городского пассажирского транспорта, оптимизация состава транспортного потока;
- расширение основных магистральных улиц и улучшение качества дорожного покрытия для повышения пропускной способности УДС.

Повышение пропускной способности УДС возможно путём реализации комплекса мероприятий, включающих технические решения (расширение проезжей части, строительство многоуровневых развязок), правовые (запреты стоянок и остановок на участках дорог с высокой интенсивностью движения транспортных средств (ТС)), организационные (оптимизация скоростного режима, выделение отдельных полос для ГОПТ в часы пик, реверсивное движение и пр.).

Для снижения вредного воздействия автотранспорта была рассмотрена возможность выделения в г. Магнитогорске отдельных полос для движения городского общественного пассажирского транспорта в часы пик; уширения проезжей части; замены автобусов особо малой вместимости на автобусы большой вместимости.

В качестве объекта исследования был выбран проспект Ленина, как самый аварийный участок УДС с самой высокой интенсивностью движения транспортного потока [2].

#### Методика исследования

Обследование проводилось на регулируемых перекрёстках от ул. Московская до бул. Сиреневый. В протокол замеров заносились данные о количестве транспортных средств, движущихся по перекрёстку по направлениям налево, прямо и направо; а также данные о количестве транспортных средств по составу – легковые автомобили, грузовые автомобили, автобусы особо малой вместимости («маршрутные такси»), автобусы большой вместимости, а также легковые такси.

Максимальная пропускная способность проезжей части в одном направлении  $N_n$ , авт./ч, определяется по формуле [2]

$$N_n = N_n k_{пол} = 0.5 \frac{3600 V_p}{S_g} k_{пол}, \quad (1)$$

где  $N_n$  – максимальная пропускная способность одной полосы движения, авт./ч;  $k_{пол}$  – коэффициент полноты дорог, принимается при одной полосе движения равным 1.0, при двух полосах – 1.9, при трёх полосах – 2.7; 0.5 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на скорость движения автомобилей ряда лимитирующих её факторов: погодных условий, состава движения, предписанных мер по организации движения;  $V_p$  – расчётная скорость, м/с;  $S_g$  – расчётное расстояние видимости поверхности дороги, м.

Интенсивность движения транспортных средств различных типов приводится к эквивалентному количеству легковых автомобилей. Расчётная часовая интенсивность движения всех транспортных средств

$N_q$ , авт./ч.

$$N_q = N_n + N_m + N_{сп} k_{пр}^{сп} + N_m k_{пр}^m + N_a k_{пр}^a, \quad (2)$$

где  $N_n$  – интенсивность движения легковых автомобилей, авт./ч;  $N_m$  – интенсивность движения такси, авт./ч;  $N_{сп}$  – интенсивность движения грузовых автомобилей, авт./ч;  $N_m$  – интенсивность движения автобусов особо малой вместимости (маршрутные такси «Газель»), авт./ч;  $N_a$  – интенсивность движения автобусов большой и средней вместимости, авт./ч;  $k_{пр}^{сп}$ ,  $k_{пр}^m$ ,  $k_{пр}^a$  – коэффициент приведения интенсивности движения определённого типа транспортного средства к эквивалентному количеству легковых автомобилей. В расчётах принимается значение коэффициента приведения для грузовых автомобилей  $k_{пр}^{сп} = 1.75$ ; для автобусов малой вместимости –  $k_{пр}^m = 1.5$ ; для автобусов средней и большой вместимости –  $k_{пр}^a = 1.75$ .

Условие выделения отдельной полосы для движения городского пассажирского транспорта определяется следующей системой ограничений

$$\begin{cases} N_n \geq N_q \\ N_1 \geq N_m + N_a + N_m \\ N_n - N_1 \geq N_q - (N_m + N_a + N_m), \end{cases} \quad (3)$$

где  $N_1$  – максимальная пропускная способность полосы для движения ГОПТ, авт./ч.

Соблюдения ограничений (3) позволяет говорить о наличии резерва пропускной способности участка УДС и возможности выделения отдельной полосы для движения пассажирского транспорта. При несоблюдении неравенства для повышения пропускной способности УДС необходима реализация мероприятий по уширению проезжей части.

Проведён расчёт выбросов при замене автобусов особо малой вместимости на автобусы большой вместимости. Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автотранспортными средствами соответствующего расчётного типа  $M_{ipj}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{ipj} = g_{ipj} Q_{pj} 10^{-3}, \quad (4)$$

где  $Q_{pj}$  – потребление моторного топлива  $p$ -го вида автотранспортными средствами  $j$ -го расчётного типа при движении по городским улицам и дорогам за определённый период, т;  $g_{ipj}$  – удельный выброс  $i$ -го загрязняющего вещества автотранспортными средствами  $j$ -го расчётного типа при использовании  $p$ -го вида топлива, г/кг.

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества всеми автотранспортными средствами при использовании моторного топлива определённого вида  $M_{ip}$  рассчитывается по формуле [3]:

$$M_{ip} = \sum_{j=1}^J M_{ipj}, \quad (5)$$

Для автобусов с бензиновым двигателем и дизелем рассчитывались выбросы CO, CH, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>. Вещества, выбросы которых зависят от топлива ТС и определяются как доля потребления топлива. Расход топлива рассчитан из норматива 17.5 л бензина на 100 км пробега для автобусов малой вместимости и 35 л дизельного топлива на 100 км пробега для автобусов большой вместимости [4].

## Результаты и обсуждение

Результаты расчётов по выделению отдельных полос для движения городского пассажирского транспорта по пр. Ленина в г. Магнитогорске представлены в табл. 1. Из результатов следует, что существует возможность выделения отдельной полосы для движения ГОПТ одновременно с уширением проезжей части.

Из 60-ти действующих в г. Магнитогорске автобусных маршрутов по рассматриваемому в работе участку проходят 7 (табл. 2). На маршрутах используются преимущественно автобусы малой вместимости.

Таблица 1  
Результаты расчётов по выделению отдельных полос для движения городского пассажирского транспорта по пр. Ленина в г. Магнитогорске

Наименование перегона	Интенсивность движения всех ТС, авт./ч	Интенсивность движения ТС ГОПТ, авт./ч	Интенсивность движения одной полосы, авт./ч	Максимальная пропускная способность проезжей части, авт./ч	Максимальная пропускная способность одной полосы, авт./ч	Интенсивность движения ТС без учёта маршрутных ТС, авт./ч	Фактический резерв пропускной способности, авт./ч	Рекомендации
пр.Ленина – ул.Московская	521	298	261	946	473	223	250	выделение полосы
пр.Ленина – ул.Комсомольская	1042	234	521	946	473	808	-335	уширение 1 полосы
пр.Ленина – ул.Ленинградская	1761	233	881	946	473	1528	-1055	уширение 2.5 полосы
пр.Ленина – ул.Гагарина	1692	403	564	1344	448	1289	-393	уширение 1 полосы
пр.Ленина – ул.Грязнова	1997	446	666	1344	448	1551	-655	уширение 1.5 полосы
пр.Ленина – ул.Сов.Армии	1319	222	660	946	473	1097	-624	уширение 1.5 полосы
пр.Ленина – ул.Завенягина	1637	292	546	1344	448	1345	-449	уширение 1 полосы
пр.Ленина – ул.Б.Ручьева	1457	230	486	1344	448	1227	-331	уширение 1 полосы
пр.Ленина – бул.Сиреневый	882	15	441	946	473	867	-394	уширение 1 полосы

Таблица 2  
Сравнение показателей расхода топлива за рейс автобусов АБВ и АМВ на маршруте

Наименование перегона	Расстояние, км	Скорость движения, км/ч		Расход топлива, л			
		в час пик	расчётная	В час пик		Зелёная волна АБВ	
Ул. Московская	1.20	3.70	26.00	3.39	2.81	0.48	
Ул. Комсомольская	0.30	2.60	26.00	1.21	1.00	0.12	
Ул. Ленинградская	1.10	5.50	26.00	2.09	1.73	0.44	
Ул. Гагарина	1.20	5.80	26.00	2.16	1.79	0.48	
Ул. Грязнова	0.40	1.30	26.00	3.22	2.66	0.16	
Ул. Сов. Армии	0.80	5.30	26.00	1.58	1.31	0.32	
Ул. Завенягина	2.10	1.20	26.00	18.31	15.14	0.84	
Ул. Б. Ручьева	0.90	2.90	26.00	3.25	2.68	0.36	
Бульвар Сиреневый	0.40	4.50	26.00	0.93	0.77	0.16	
Итого				46.74	36.13	29.88	3.38

Удельный выброс загрязняющих веществ по перегонам зависит от удельного расхода топлива, который возрастает при уменьшении скорости движения по маршруту в час пик. Так, для автобусов большой вместимости, при уменьшении их скорости от расчётной для МП «МагГорТранс» от 26 км/ч до фактической 5.8-1.2 км/ч на разных участках, выбранных для наблюдения маршрутов, расход топлива возрастает с 0.03 л/мин до 0.10-0.43 л/мин. (табл. 2). Время нахождения на маршруте увеличивается с 19.4 до 201.3 мин.

Очевидно, что развитие городского пассажирского транспорта и оптимизация состава транспортного потока должны идти по пути выделения отдельной полосы и замены автобусов малой вместимости, курсирующих с нарушением расписания движения на автобусы большой вместимости, перевозящие пассажиров строго по расписанию.

На семи проанализированных маршрутах большая доля приходится на перевозки автобусами особо малой вместимости (120 автобусов, средняя вместимость 13 пасс. мест). Расчёты показали, что после уширения полос при замене 120 автобусов особо малой вместимости на 18 автобусов большой вместимо-

сти без снижения пассажиропотока в часы пик эксплуатационная скорость движения увеличится до расчётной 26 км/ч. В этом случае скорость доставки на разных участках маршрутов возрастёт в 4.5 раза.

Несмотря на то, что нормативный расход дизельного топлива для АБВ в два раза выше, чем расход бензина для АМВ, расчётные удельные расходы топлива составляют для АМВ 0.17 л/мин., а для АБВ 0.14 л/мин., а расчётные удельные выбросы загрязняющих веществ от автобусов особо малой вместимости которые составляют (г/мин.) по СО – 2.32, по СН – 0.26, по NOx – 0.63 и по SO<sub>2</sub> – 0.06 превышают удельные выбросы автобусов большой вместимости, которые составляют по СО – 1.24, по СН – 0.63, по NOx – 3.62 и по SO<sub>2</sub> – 0.23 по показателю NOx, а суммарный выброс от 120 автобусов АМВ практически такой же как от 77 АБВ (табл. 3).

Таблица 3

Загрязняющее вещество	Удельные выбросы загрязняющих веществ АБВ и АМВ на маршруте		
	Выброс загрязняющих веществ, г/мин.		
	В час пик		Зелёная волна
	70 АБВ	120 АБВ	88 АБВ
СО	87.11	278.96	109.51
СН	43.86	31.14	54.75
NOx	253.22	75.26	318.33
SO <sub>2</sub>	16.21	7.20	20.37
Суммарный выброс	400.39	392.56	502.97

В результате замены 120 автобусов особо малой вместимости на 18 автобусов большой вместимости снизятся выбросы от транспортных средств в атмосферу на 289.98 г/мин. (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение показателей вариантов замены АМВ на АБВ

Показатель	Класс автобуса	Значение		Изменения показателя
		до замены подвижного состава	после замены подвижного состава	
Количество транспортных средств на маршрутах, ед.	АБВ	70	88	
	АМВ	120	0	- 102
Общая занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	АБВ	1890	2376	
	АМВ	1380	0	- 894
Суммарный расход топлива за рейс, л	АБВ	2782.30	270.35	
	АМВ	3585.74	0	-6097.7
Общая вместимость, пасс.	АБВ	7700	9680	
	АМВ	1800	0	+180
Суммарные выбросы, г/мин.	АБВ	400.39	502.97	
	АМВ	392.56	0	-289.98

С позиции рационального использования природных ресурсов, к которым относятся в том числе атмосфера, земля; минеральное сырьё, водные ресурсы, важным экологическим результатом является и снижение ресурсоёмкости перевозки пассажиров (табл. 4).

Предлагаемые мероприятия позволят в часы пик снизить удельный выброс загрязняющих веществ на 30%, расход топлива почти на 95%.

### Заключение

Предлагаемый подход к оптимизации транспортной сети (выделение отдельных полос для движения ГОПТ) к развитию городского пассажирского транспорта и оптимизации состава транспортного потока (замена 120 автобусов особо малой вместимости на 18 автобусов большой вместимости) позволит: повысить качество транспортного обслуживания населения (соблюдение графиков и интервалов движения транспортных средств, снизить продолжительность поездки); повысить скорость доставки пассажиров в часы пик; снизить удельный расход топлива, занимаемую автобусным парком площадь и выбросы вредных веществ при работе ГОПТ.

### Список литературы

1. Цапковская Т.С., Ильина А.В. Разработка схемы прогноза высокого и экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха в городе Магнитогорске методом графической регрессии и результаты ее испытания. Методический кабинет Гидрометцентра России. Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/>
2. Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Цыганов А.В., Пыталова О.А. Методика разработки маршрутной сети движения городского пассажирского транспорта (на примере г. Магнитогорска) // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 49-58.
3. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. Режим доступа: <http://www.opengost.ru/iso/3174-raschetnaya-instrukciya-metodika-po-inventarizacii-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-avtotransportnymi-sredstvami-v-atmosfernyy-vozduh.html>
4. Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 N AM-23-р (ред. от 14.07.2015) «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте». Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/)
5. Хомченко А.Н. Осинцев Н.А. Ресурсоэкономичность транспортных систем городов // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. № 2. С. 134-139.
6. Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Н. Выполнение проектных работ по обновлению маршрутной сети городского пассажирского автотранспорта г. Магнитогорска: отчет о НИР. Муниципальный контракт №1444 / ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова». Магнитогорск, 2009. 254 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.16

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## THE REDUCTION OF HARMFUL IMPACT OF ROAD TRANSPORT IN PICK HOURS ON AIR BASIN IN THE MAGNITOGORSK CITY

**Orekhova Natalya Nikolaevna** – D.Sc. (Eng.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-3519-29-85-55. E-mail: [n\\_orehova@mail.ru](mailto:n_orehova@mail.ru)

**Osintsev Nikita Anatolievich** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-3519-29-85-16. E-mail: [osintsev@magtu.ru](mailto:osintsev@magtu.ru)

**Abstract**

The environmental aspects of harmful impact of road transport on air basin in the Magnitogorsk city have considered. The results of survey of density of operation in public transport on city routes have presented and the set of activities for reducing harmful impact from public passenger road transport (GOPT) including the necessity to add the separate lanes in Magnitogorsk city for movement of urban public passenger transport in pick hours; widening the carriageway; the change in buses with low capacity to the buses with high capacity. The realization of the proposed activities for the section of road network on the Lenina avenue will allow: to increase the speed of passengers' delivery in pick hours, to reduce specific fuel consumption, to decrease the space occupied by bus park and to reduce emissions of harmful substances from public passenger road transport by 290 gr/min.

**Keywords:** urban passenger transport, road transport, buses, ecology, route network, emissions, air basin.

*This research is supported by Tempus Project «Ecological Education for Belarus, Russia and Ukraine» - «EcoBRU» (543707-TEMPUS-I-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES).*

**References**

1. Capkovskaya T.S., Il'ina A.V. Razrabotka skhemy prognoza vysokogo i ehkstrema'no vysokogo zagryazneniya atmosfernogo vozduha v gorode Magnitogorske metodom graficheskoy regressii i rezul'taty ee ispytaniya. Metodicheskij kabinet Gidrometcentra Rossii. [Forecast development of high and extremely high pollution of atmospheric air in Magnitogorsk by method of graphic regression]. Available at: <http://meteoinfo.ru/>
2. Kornilov S.N., Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A., Cyganov A.V., Pytaleva O.A. Metodika razrabotki marshrutnoj seti dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta (na primere g. Magnitogorska) [Urban civil transport-communication map working-out method (in term of Magnitogorsk city)

// Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no.2, pp. 49-58.

3. Raschetnaya instrukciya (metodika) po inventarizacii vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv ot avtotransportnyh sredstv na territorii krupnejshih gorodov [The inventory instruction of emissions the polluting substances from vehicles in the largest cities territory]. Available at: <http://www.opengost.ru/iso/3174-raschetnaya-instrukciya-metodika-po-inventarizacii-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-avtotransportnyh-sredstvami-v-atmosfernyy-vozduh.html>
4. Rasporjazhenie Mintransa Rossii ot 14.03.2008 N AM-23-r (red. ot 14.07.2015) «O vvedenii v dejstvie metodicheskikh rekomendacij «Normy raskhoda topliv i smazochnyh materialov na avtomobil'nom transporte» [Ministry of Transport Russian Federation decree «About introduction of methodical recommendations «Consumption rates of fuels and lubricants on the motor transport»]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/)
5. Homchenko A.N. Osintsev N.A. Resursoehkonomichnost' transportnyh sistem gorodov [Resource reduction in transport city systems] // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2012, no. 2, pp. 134-139.
6. Kornilov S.N., Rakhmangulov A.N. Vypolnenie proektnyh rabot po obnovleniyu marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo avtotransporta g. Magnitogorska: otchet o NIR. Municipal'nyj kontrakt №1444 [Bringing the existing route network of passenger bus transport of Magnitogorsk in accordance with the existing terms and conditions of passengers transportation] / NMSTU. Magnitogorsk. 2009, 254 p.

Received 09/12/16

Орехова Н.Н., Осинцев Н.А. Снижение вредного воздействия автотранспорта в час пик на воздушный бассейн в городе Магнитогорске // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т.6. №1. С. 29-33

Orehova N.N., Osintsev N.A. The reduction of harmful impact of road transport in pick hours on air basin in the Magnitogorsk city // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2016, vol. 6, no. 1, pp. 29-33