

О. Л. Дариенко, С. В. Погребной

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Исследована физическая природа подвижного состава, как составляющей транспортного кластера, и механизмы определения его экологической устойчивости. Предложена зависимость для оценки экологической устойчивости транспортного средства как потребителя «грязного ресурса» в городской агломерации. Рассмотрена зависимость объема потребления «грязного ресурса» от характеристик эксплуатации двигателя подвижного состава. Произведена оценка прямого и косвенного воздействия автотранспорта на окружающую среду города с применением кластерного анализа. Экспертным путем установлены значения коэффициентов весомости различных показателей свойств транспортных средств.

Ключевые слова: окружающая среда, городская агломерация, экологическая устойчивость, транспортный кластер, подвижной состав автомобильного транспорта, эксплуатация транспортных средств, экспертная оценка

Введение

Современные условия развития промышленности, экономики и общества городской среды обуславливают необходимость всестороннего исследования и анализа ее транспортной системы с последующим выявлением основных экологических тенденций и угроз, поиском возможных путей снижения негативного воздействия на окружающую среду города.

Исследованию проблем влияния автомобильного транспорта на развитие города и его окружающую среду посвящены научные разработки как отечественных, так и зарубежных исследователей [1–4]. Ряд работ раскрывает вопросы координированного регулирования дорожного движения в зависимости от экологических характеристик транспортного потока [5, 6]. Модели прогнозирования транспортных потоков используются для оценки влияния на улично-дорожную сеть и жилые районы [7, 8].

Условия развития и функционирования современных городов зависят от наличия транспортных потоков, которые состоят из транспортных кластеров с разными функциональными и целевыми характеристиками [9]. Впрочем, невзирая на численность публикаций по экологическим проблемам урбанизированных территорий, недостаточно изученным остается вопрос оценки экологической устойчивости подвижного состава транспортной сферы.

Цель работы

Разработка методики оценки влияния автомобильного транспорта на окружающую среду городской территории.

Основная часть

В современных условиях подвижной состав – это сложная электротехническая система, которая может быть рассмотрена как физический многоуровневый объект, а именно как объект, осваивающий природные ресурсы и выделяющий загрязняющие вещества в окружающую среду города. Аналогом такого физического объекта предложено считать элементарную физическую частицу «фридмон». Определение фридмону дано М. А. Марковым в 1966 году: «фридмон – это гипотетическая частица, внешняя масса и размеры которой малы, а внутренние

размеры и масса могут превосходить внешние во много раз...». Несмотря на незначительную массу, фридмон является объектом, который может выделять и поглощать неограниченные объемы ресурсов [10, 11].

Для получения оценки экологической устойчивости транспортного средства, как потребителя «грязного ресурса», в среде города авторами была модифицирована базовая зависимость для расчета потребления условного ресурса фридмоном:

$$V_{\text{сн.рес}} = V \cdot \frac{K_{\text{тр}}}{\sqrt{K_{\text{тр}}^n}} \cdot \frac{S_{\text{мз}}}{S_{\text{обн}}} \cdot \frac{m}{M} \cdot \frac{n_{\phi}}{n_n}, \quad (1)$$

где V – объем двигателя унифицированного транспортного средства, см³;

$K_{\text{тр}}$ – количество транспортных средств, отвечающих установленным экологическим критериям и выше, ед.;

$K_{\text{тр}}^n$ – количество транспортных средств, не полностью отвечающих установленным экологическим критериям, ед.;

$S_{\text{мз}}$ – площадь, занимаемая подвижным составом, м²;

$S_{\text{обн}}$ – габариты построек для автомобильного подвижного состава в условиях города, м²;

m – масса унифицированного транспортного средства, т;

M – фактическая масса транспортного средства, т;

n_{ϕ} – фактический объем потребления ресурса транспортным средством в условиях города, ед. изм.;

n_n – нормативный объем потребления ресурса транспортным средством, ед. изм.

Сравнение показателей, определяющих условия эксплуатации подвижного состава в окружающей среде города, показало следующее: 80 % подвижного состава работает в режиме холостого хода за пределами штатного режима работы двигателя, а крутящий момент равен 850 об/мин, что обуславливает рост выбросов в атмосферу и почву (рисунок).

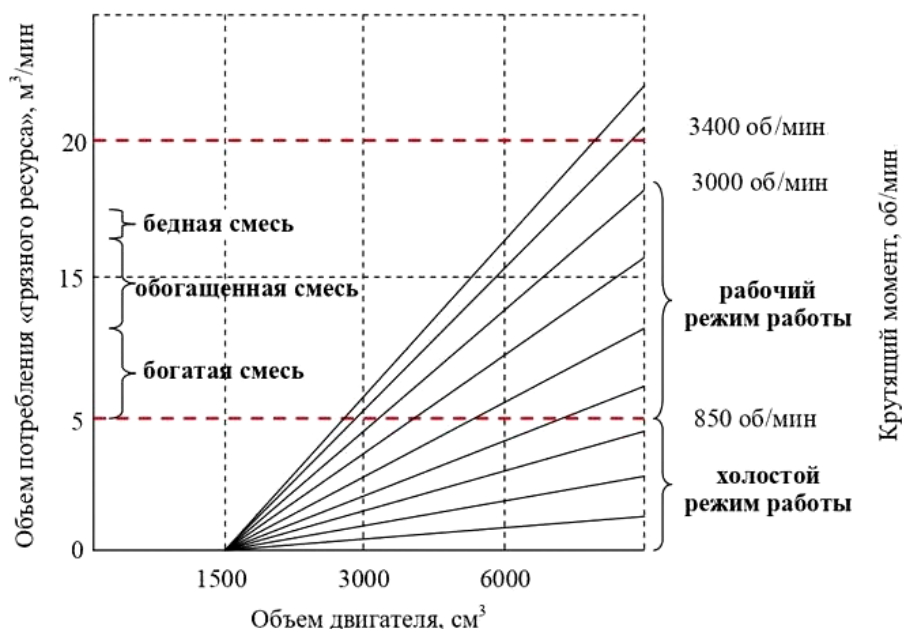


Рисунок – Зависимость объема потребления «грязного ресурса» от характеристик эксплуатации двигателя подвижного состава

Для оценки экологической устойчивости транспортных кластеров, как «поставщика грязного ресурса», авторы приняли гипотезу о том, что кластер, характеризующийся своей

плотностью, является неоднородным по своей структуре пространственным образованием, которое имеет затухающую на момент измерения скорость движения ($V = 5$ км/ч). Наибольшее влияние на улично-дорожную среду от кластера отмечается в районе перекрестка.

Определение расстояний между группами автотранспортных средств исследуемого кластера осуществляется с помощью программного продукта Statistica. Расчетная функция имеет вид:

$$d(r, s) = \min \left[\text{dist} \left(X_i^r, X_j^s \right) \right], \quad (2)$$

$$i \in (1, \dots, n_r), j \in (1, \dots, n_s)$$

где n_r – число составляющих (пассажирских транспортных средств) в кластере r , ед.;

n_s – число составляющих (грузовых транспортных средств) в кластере s , ед.;

X_i^r, X_j^s – соответственно i -й и j -й объекты в кластерах r и s , м.

Далее была произведена оценка прямого и косвенного воздействия автотранспорта, формирующего транспортный кластер, на окружающую среду города с применением кластерного анализа. Для этого подвижной состав был разделен на группы: 1 – легковые автомобили, 2 – грузовые автомобили с бензиновыми двигателями, 3 – грузовые с дизельными двигателями, 4 – автобусы с бензиновыми двигателями, 5 – автобусы с дизельными двигателями.

Результаты анализа транспортного кластера по степени воздействия на окружающую среду города позволяют сделать вывод, что прямое воздействие от деятельности транспорта составляет около 48,55 %, а основными источниками антропогенного воздействия являются грузовые автомобили с дизельными двигателями и легковые автомобили (таблица 1).

Таблица 1 – Составляющие транспортного кластера (на примере г. Горловки)

Исследуемый транспортный поток	Пределы составляющих транспортного кластера	
	от, %	до, %
Грузовой транспорт с дизельными двигателями	82,4	100
Легковые автомобили	33,1	72,5

Оценка загрязняющих веществ в атмосфере транспортного кластера произведена следующим образом:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i \cdot H \cdot B}{N \cdot v} \cdot \left(\Phi \left[\theta(A_j) \right] \cdot M \right), \quad (3)$$

где w_i – коэффициент изоэффективности согласно существующему классу безопасности вещества, к которому оно относится;

x_i – общая длина кластера, являющегося источником выбросов i -го вещества, м;

B – ширина подвижного состава (согласно ISO 612-1978 принимается равной 2,6 м);

H – высота подвижного состава (согласно ISO 612-1978 принимается равной 4 м);

N – количество подвижного состава в исследуемом кластере, ед.;

v – скорость кластера, м/с;

$\Phi \left[\theta(A_j) \right]$ – функция значимости выбранного экологического критерия j из существующего множества критериев;

A_j – фактическая среднесуточная (среднегодовая) концентрация i -го вещества, мг/м³;

M – условный вес загрязняющего вещества, как химического элемента, влияющего на степень экологической безопасности города (экспертная оценка).

Функция $\Phi[\theta(A_j)]$ ставит в соответствие каждому значению x определенное действительное число – параметр ценности $\theta(x)$. Причем x лучше x^* при условии, что $\theta(x) > \theta(x^*)$, а x равноценно x^* только в случае выполнения условия:

$$\theta(x) > \theta(x^*). \quad (4)$$

Если функция аддитивна, то для всех $i = 1, \dots, n$ ($n > 3$) параметр ценности можно определить следующим образом:

$$\vartheta(X_1, \dots, X_n) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \vartheta_i(X), \quad (5)$$

где ϑ_i – показатели свойств, выраженные значениями в безразмерном виде;

γ_i – весовые (по шкале) коэффициенты, характеризующие ценностные соотношения между показателями и удовлетворяющие условию:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1. \quad (6)$$

Значения коэффициентов значимости отдельных показателей свойств транспортных средств, как составляющих транспортных кластеров, установлены экспертным путем (таблица 2).

Таблица 2 – Вес показателей эксплуатационных свойств транспортных средств в условных группах (результаты экспертной оценки)

Измерители	Вес измерителей, %				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
Косвенное воздействие на экологическую устойчивость					
Тормозные свойства	6,8	3,9	3,9	7,0	7,0
Управляемость, устойчивость	0,1	0,1	0,1	3,0	3,0
Обзорность, освещение	1,1	2,5	2,5	5,0	5,0
Травмоопасность	0	0	0	6,5	6,5
Вибронагруженность	1,5	1,5	2,0	4,5	4,5
Эргономичность салона	5,375	0,1	0,1	5,375	0,1
Габариты салона	0	0	0	3,25	3,25
Потребность в конструкционных материалах	10,0	7,0	5,5	3,0	2,0
Потребность в эксплуатационных материалах	7,4	11,4	11,4	7,4	7,25
Трудозатраты	7,5	8,0	8,0	2,6	2,5
Приспособленность к предоставлению транспортных услуг	0,6	0,5	0,5	3,0	3,0
Тягово-скоростные свойства	15,9	10,0	10,0	8,5	8,5
Маневренность, проходимость	0	0	0	0	0
Прямое воздействие на экологическую устойчивость					
Загрязнение водных ресурсов	2,54	3,14	3,29	2,18	2,2
Загрязнение почвы	1,0	1,0	1,0	1,0	1,25
Тепловое загрязнение	2,0	2,0	1,5	2,385	2,375
Шумовое загрязнение	6,9	6,9	7,4	5,35	5,5
Электромагнитное загрязнение	2,0	2,0	1,5	2,385	2,375
Загрязнение атмосферного воздуха (общее), в т. ч.:	22,96	28,36	29,71	19,72	22,3
оксиды углерода	3,0	3,5	4,15	2,75	2,5
углеводороды	10,0	10,5	7,35	5,5	4,25
оксиды азота	7,35	10,35	8,3	8,17	8,0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
твердые частицы	0,5	0,5	5,56	0,5	4,5
сернистый ангидрид	1,56	2,46	2,8	1,75	2,0
свинец и его соединения	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Потребление энергоресурсов	6,0	5,0	5,0	4,0	2,25
Воздействие на биоту и отчуждение земель	0	0	0	0	0
Водопотребление	1,1	1,1	1,1	0,5	0,5
Потребление кислорода атмосферного воздуха	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Пусковые свойства	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

В таблице 2 приведены весовые коэффициенты для пяти групп транспортных средств, как и в кластерном анализе. Получена количественная оценка кластеров, образующих транспортный поток, которая позволяет подчеркнуть важность исследуемой проблемы и необходимость разработки механизма прогноза влияния транспортных кластеров на экологическую систему улично-дорожной среды города.

Выводы

В рамках данного исследования проведен анализ воздействия автомобильного транспорта на состояние окружающей среды городских агломераций, а именно:

- 1) исследован подвижной состав, как составляющая транспортного кластера в городской системе;
- 2) проведен кластерный анализ транспортного кластера по степени воздействия на окружающую среду города;
- 3) на основе проведенного анализа сформулирована зависимость объема потребления «грязного ресурса» от характеристик эксплуатации двигателя подвижного состава;
- 4) путем применения метода экспертных оценок представлены группы косвенных и прямых показателей эксплуатационных свойств транспортных средств и значения коэффициентов их значимости.

Список литературы

1. Орифов, Дж. Р. Влияние загрязняющих веществ автотранспорта на экологию города Душанбе / Дж. Р. Орифов, М. Холмирзоева. – Текст : электронный // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2021. – Т. 1, № 2. – С. 101–103. – URL: <http://cawater-info.net/library/rus/wree-2-2021.pdf>.
2. Оценка влияния автотранспорта на экологию Москвы и здоровье москвичей / С. В. Мхитарян, Р. Р. Сидорчук, И. И. Скоробогатых, А. В. Лукина // Друкеровский вестник. – 2022. – № 2(46). – С. 143–151.
3. Кириллов, Н. Г. Экология и автотранспорт: о необходимости перехода на природный газ как перспективное моторное топливо / Н. Г. Кириллов, А. Н. Лазарев // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2015. – № 6(99). – С. 19–27.
4. Щукина, Т. В. Оценка воздействия автотранспорта на экологию урбанизированных территорий и пути сокращения нагрузки транспортной системы мегаполиса / Т. В. Щукина, О. С. Тамонова, И. И. Акулова // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 36–41.
5. Самисько, Д. Н. Проектирование координированного светофорного регулирования на основании компьютерного моделирования движения автомобилей / Д. Н. Самисько // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2020. – № 4(35). – С. 15–23.
6. Власов, А. А. Математическое обеспечение подсистемы светофорного управления интеллектуальной транспортной системы / А. А. Власов, В. В. Коновалов. – Текст : электронный // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-3(82). – С. 68–74. – URL: [https://oreluniver.ru/public/file/archive/mtitm_dlya_sayta_ZHURNAL__3-3\(82\).pdf](https://oreluniver.ru/public/file/archive/mtitm_dlya_sayta_ZHURNAL__3-3(82).pdf).
7. Данович, Л. М. Прогнозирование исходных данных в динамическом режиме для модели распределения транспортных потоков по сети / Л. М. Данович, Н. А. Наумова. – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9-2. – С. 238–242. – URL: <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2016/9-2/40727.pdf>.

8. Болодурина, И. П. Интеллектуальная модель прогнозирования интенсивности движения транспортных средств на перекрестке / И. П. Болодурина, Л. М. Анциферова, Л. С. Гришина. – Текст : электронный // Интеллектуальные Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 6. – С. 69–78. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-model-prognozirovaniya-intensivnosti-dvizheniya-transportnyh-sredstv-na-perekrestke/viewer>.
9. Бочкаева, Г. Л. Роль транспортного кластера в социально-экономическом развитии регионов / Г. Л. Бочкаева. – Текст : электронный // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – 2018. – № 2. – С. 5–11. – URL: https://www.miiit.ru/content/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC.pdf?id_wm=801885.
10. Stathopoulos, A. A multivariate state space approach for urban traffic flow modeling and prediction / A. Stathopoulos, M. Karlfis // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2003. – Vol. 11, № 2. – P. 121–135.
11. Edussuriya, Pr. Urban morphology and air quality in dense residential environments: Correlations between morphological parameters and air pollution at street-level / Pr. Edussuriya, A. Chan, A. Malvin // Journal of Engineering Science and Technology. – 2014. – Vol. 9, № 1. – P. 64–80.

О. Л. Дариенко, С. В. Погребной
Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Анализ воздействия автомобильного транспорта на состояние окружающей среды
городских агломераций

В статье подвижной состав рассмотрен как физический многоуровневый объект, осваивающий природные ресурсы и выбрасывающий загрязняющие вещества в окружающую среду города. Аналогом данного объекта предложено принять элементарную физическую частицу «фридмон». Предложена зависимость для оценки экологической устойчивости транспортного средства как потребителя «грязного ресурса» в среде города. Рассмотрена зависимость объема потребления «грязного ресурса» от характеристик эксплуатации двигателя подвижного состава. Исследование условий эксплуатации подвижного состава в окружающей среде города показало, что 80 % автомобилей работают в режиме холостого хода вне штатного режима работы двигателя, что обуславливает рост выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и почву.

С применением кластерного анализа произведена оценка автомобильного транспорта на окружающую среду городской агломерации. С этой целью подвижной состав города был разделен на пять основных групп: легковые автомобили, грузовые автомобили с бензиновыми двигателями, грузовые с дизельными двигателями, автобусы с бензиновыми двигателями, автобусы с дизельными двигателями. На основе результатов кластерного анализа предложена зависимость, позволяющая оценить загрязняющие вещества от транспортного кластера в окружающей среде города.

Экспертным путем установлены значения показателей эксплуатационных свойств транспортных средств и значения коэффициентов их значимости. Основными измерителями прямого воздействия на экологическую устойчивость являются загрязнение воздуха, воды и почвы, тепловое и шумовое загрязнение. К измерителям косвенного воздействия отнесены тягово-скоростные и тормозные свойства транспортных средств, потребности в конструкционных и эксплуатационных материалах, трудозатраты и прочее.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ГОРОДСКАЯ АГЛОМЕРАЦИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ, ТРАНСПОРТНЫЙ КЛАСТЕР, ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА

O. L. Darienko, S. V. Pogrebnoi
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Analysis of the Road Transport Impact on the Environmental State of Urban Agglomerations

The article considers the rolling stock as a physical multi-level object that develops natural resources and releases pollutants into the city environment. It is proposed to take the elementary physical particle «Friedmon» as an analogue of this object. The relationship for assessing the environmental sustainability of a vehicle as a consumer of a «dirty resource» in the city environment is proposed. The dependence of the consumption volume of the «dirty

resource» on the operating characteristics of the rolling stock engine is considered. The study of the rolling stock operating conditions in the city environment showed that 80 % of vehicles operate in idling mode outside the normal operating mode of the engine, which causes an increase in emissions of pollutants into the atmosphere and soil.

Using cluster analysis, the assessment of road transport on the environment of the urban agglomeration is made. For this purpose, the city's rolling stock was divided into five main groups: cars, trucks with gasoline engines, trucks with diesel engines, buses with gasoline engines, buses with diesel engines. Based on the results of the cluster analysis, the dependence is proposed that allows us to assess pollutants from the transport cluster in the city environment.

The values of indicators of operational properties of vehicles and the values of their significance coefficients are established by expert means. The main measures of the direct impact on the environmental sustainability are air, water and soil pollution, thermal and noise pollution. The measurements of indirect impact include the traction, speed and braking properties of vehicles, the need for structural and operational materials, labour costs, etc.

ENVIRONMENT, URBAN AGGLOMERATION, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, TRANSPORT CLUSTER, ROLLING STOCK, VEHICLE OPERATION, EXPERT ASSESSMENT

Сведения об авторах:

О. Л. Дариенко

SPIN-код РИНЦ: 4259-2959
Телефон: +7 (949) 330-85-05
Эл. почта: osnovi.ekologiyi@gmail.com

С. В. Погребной

Телефон: +7 (949) 302-81-95
Эл. почта: s_pogrebnoy@mail.ru

Статья поступила 04.12.2023

© О. Л. Дариенко, С. В. Погребной, 2023

*Рецензент: М. В. Коновальчик, канд. техн. наук,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*