УДК 656.13.05 (08)

В.Н.ФЕДОТОВ, *канд. техн. наук, доцент, nik2k@mail.ru*
А.А.БАЖЕНОВ, *канд. техн. наук, старший преподаватель, z4m62@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.N.FEDOTOV, *Ph.D in eng. sc., associate professor, nik2k@mail.ru*
A.A.BAZHENOV, *Ph.D in eng. sc., senior lecturer, z4m62@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Описывается концепция логистического управления экологической безопасностью автомобильного транспорта на трех уровнях системы: мегауровне формирования региональной автопарка, макроуровне местного управления пассажирских маршрутов и движения, микроуровне конкретного транспортного средства (водитель – автомобиль).

***Ключевые слова*:** загрязнение, автомобильный транспорт, перевозки, экология.

LOGISTIC MANAGEMENT ECOLOGICAL SAFETY OF AUTOMOBILE TRANSPORT

In the report the concept of logistic management by ecological safety of automobile transport at three system levels is considered: mega-level of formation of regional vehicle fleet, macro-level of local management of passenger routes and traffic, micro-level of individual crew (driver – car).

***Key words*:** pollution, motor transport, transportations, ecology.

Рыночная экономика многократно расширила направления автомобильных перевозок. В зонах интенсивных транспортных и пешеходных потоков, характерных для крупных городов, основной производственный процесс автотранспортного комплекса – перемещение грузов и пассажиров – не только повышает риск дорожно-транспортных происшествий, но и становится экологически небезопасным для участников движения. Поэтому снижение неблагоприятного воздействия автомобильного транспорта на здоровье и имущество населения в этих условиях является актуально научной и методологической проблемой.

Экологическая безопасность (ЭБ) автомобильного транспорта, вопросы управления автомобильными перевозками и организации дорожного движения, специфика возникновения, распространения и нейтрализации пылегазовых примесей исследовались отечественными и зарубежными учеными. Известны работы по этим направлениям научных коллективов МАДИ, СПбГАСУ, РГСУ. В этих исследованиях неблагоприятное воздействие автотранспорта и методы уменьшения загрязнения окружающей среды (ОС) за счет совершенствования конструкции ДВС, применения альтернативных видов топлив, обустройства автомобильных дорог и организации движения представлены достаточно широко [2-4]. Однако, задачи снижения ингредиентного загрязнения воздуха промышленных центров в зонах интенсивных транспортных и пешеходных потоков не решены полностью (см. таблицу).

Неблагоприятное воздействие интенсивных перевозок автотранспортом (не-

Оценка мероприятий по повышению экологической безопасности автомбильного транспорта

Мероприятие	Масштаб воздействия	Эффективность	Оставшиеся загрязнения
Выделение грузовых автомобилей из смешанного потока	Технология перевозочного процесса	Снижение шума до санитарных норм Снижение до 30 % общей массы ингредиентного загрязнения от потоков автотранспорта	Примеси ОГ (70 % массы) Мелкодисперсные частицы износа $PM_{10} - PM_{2,5}$ (50 %)
Разделение пешеходных и автотранспортных потоков	Субъект перевозочного процесса (дорога)	Снижение шума до санитарных норм Снижение до 50 % общей массы ингредиентного загрязнения от потока автотранспорта на один перекресток	Примеси ОГ (50 % массы) Мелкодисперсные частицы износа $PM_{10} - PM_{2,5}$ (100 %)
Применение альтернативных топлив, нейтрализаторов и глушителей шума отработавших газов (ОГ), перспективных энергетических установок	Субъект перевозочного процесса (автомобиль)	Снижение шума до санитарных норм Снижение до 90 % массы примесей ОГ	Примеси ОГ (10 % массы) Мелкодисперсные частицы износа $PM_{10} - PM_{2,5}$ (100 %)

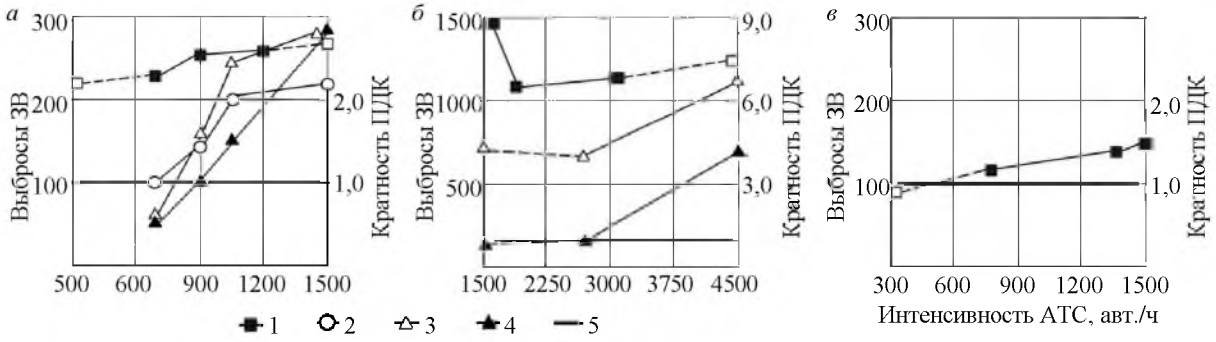

Рис.1. Интенсивность движения и массы выбросов ЗВ в крупных городах: *а* – Волгоград; *б* – Москва; *в* – Екатеринбург

1 – выбросы ЗВ, тыс. т/год; 2 – кратность превышения ПДК по взвешенным частицам; 3 – кратность превышения ПДК по оксиду углерода; 4 – кратность превышения ПДК по диоксиду азота; 5 – ПДК выбросов ЗВ

смотря на вывод грузового движения и строительство транзитных автомагистралей) проявляется в условиях застройки общественных зон крупных городов с населением 500 тыс.чел. и более. Вероятность превышения для населенных мест ПДК загрязняющих веществ (ЗВ) от автомобильного транспорта практически не зависит от топологии исторически сложившейся архитектурно-планировочной застройки города. Основное значение имеет интенсивность движения автомобилей в этих зонах, среднее значение которого в дневное время превышает 1500 авт./ч, и тенденция роста, обусловленная развитием экономики (рис.1).

На дорогах РФ участвует в движении не менее 70 % автомобилей, которые в отношении ОГ находятся на уровне норм Евро-1 и ниже (по данным на начало 2010 г). Преобладающая часть автотранспортных потоков на дорогах общегородского и районного значения крупных городов приходится на легковые автомобили (M_1) и автобусы малой вместимости (M_2). Ориентировочные расчеты по нормам выбросов ЗВ в отработавших газах (ОГ) ДВС и среднему годовому пробегу показывают, что АТС этих категории вносят 80-90 % ингредиентного загрязнения автопарка в воздушную среду городской УДС (рис.2). Значительное число выполняющих перевозки АТС категорий M_1 и M_2 повышает вес управляющих воздействий их водителей на массу выбросов ЗВ.

В практике долгосрочных программ снижения транспортных нагрузок и, как следствие, массы выбросов ЗВ в воздушную среду городской дорожной сети, разрабо-

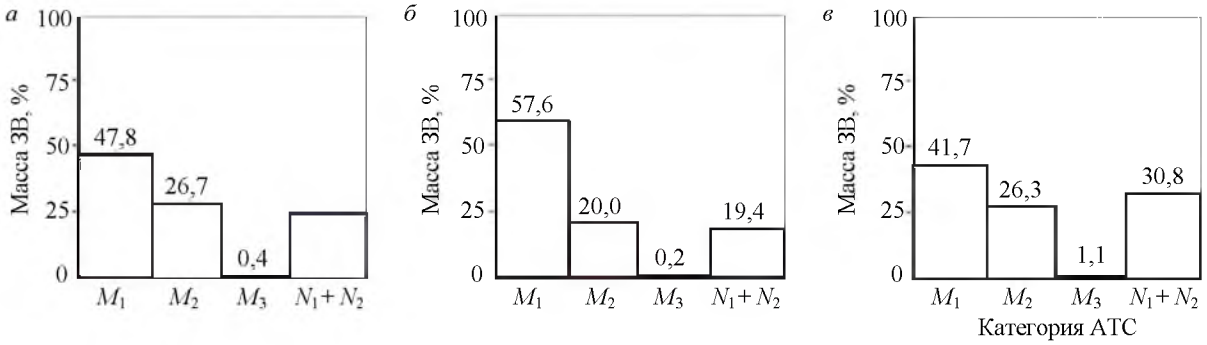

Рис.2. Категории АТС и соотношения массы выбросов ЗВ в крупных городах на примере: *а* – Волгограда, *б* – Москвы, *в* – Екатеринбурга

танных в последние годы в США, а также в европейских странах рассматривается не только развитие дорогостоящей транспортной инфраструктуры, но и мероприятия по формированию экологически ориентированного транспортного поведения участников движения. При этом особый акцент делается на рациональное управление транспортной мобильностью при перемещении материальных потоков в крупных городах автотранспортом в целом и движением АТС категорий M_1 и M_2 [8, 9].

Поступление в региональные автопарки России АТС с нормами Евро-2 и выше (6-8 % ежегодно с учетом импорта) повышает экологическую безопасность автомбильных перевозок по выбросам CO, CH, NO. Однако, при существующих темпах вывода из эксплуатации устаревающих моделей сроки обновления парка длительны – 15-20 лет. Увеличение новых экологичных АТС в автотранспортных потоках не снижает массу образующихся при перевозках мелкодисперсных частиц износа шин, тормозных накладок и многократного истирания дорожных покрытий (фракции $PM_{10} - PM_{2,5}$).

Опыт европейских городов показывает, что технические решения направленные на уменьшения токсичности ДВС, в ближайшем будущем существенно ограничат влияние ОГ на качество городской воздушной среды РФ. Однако положительные результаты снижения токсичности ОГ, очевидно будут недостаточно эффективны в отношении мелкодисперсных частиц (фракции $PM_{10} - PM_{2,5}$).

Эти обстоятельства создают объективную необходимость интеграции экологически ориентированных технологий в управление автомобильными перевозками в крупных городах на основе системно-целевого логистического подхода к перевозочному процессу. В основе методологии логистического подхода – положение о взаимосвязи транспортной работы и образующейся при ее выполнении массы отходов (в общей постановке) и, следовательно, возможности совместной оптимизации этих процессов. Модели, связывающие транспортную работу ($P_{тр}$) и массу загрязнения ($M_{ЗВ}$), составляют нормативно-целевой базис альтернативных реализаций перевозок и экологических сценариев. Критерии оптимизаций основываются на обобщающих технических и экологических показателях перевозочного процесса

В процессе перевозок автомобильным транспортом можно выделить три иерархических уровня: перевозочный процесс на региональном мегауровне, перевозочный процесс на локальном макроуровне и перевозочный процесс на индивидуальном микроуровне (рис.3). На каждом уровне перевозочный процесс оптимизируется по следующим критериям:

• объем транспортной работы в n-й период не должен противоречить сохраняющейся тенденции увеличения перевозок автомобильным транспортом в последующем $n+1$ периоде $P_{тр_{n+1}} > P_{тр_n}$ $(P_n \neq 0)$;

• масса ЗВ от автотранспортных потоков $M_{ЗВ} < M_{ПДК} = f(c_{ПДК})$ не должна быть

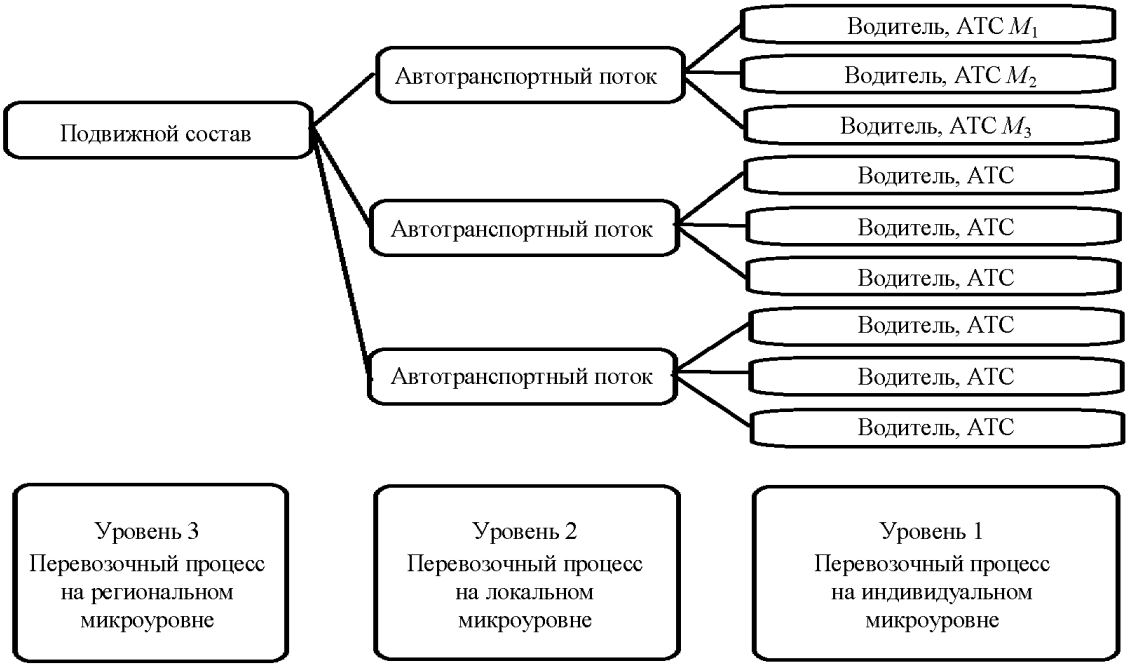

Рис.3. Иерархические уровни перевозочного процесса АТК в крупном городе

больше массы ЗВ, которые могут создавать концентрации токсичных примесей на городской УДС, превышающие ПДК.

Для уровней установлены также общие ограничения: $A_{2i} \in A_{3i}$ и $L_{1k} \in L_{2k}$.

Оптимизационные модели имеют следующий вид.

Уровень 3:

$$P_3 = \sum f(A_{31}, A_{32}, \ldots A_{3n}; W_{31}, W_{32}, \ldots W_{3n});$$

$$M_3 = \sum f(A_{31}, A_{32}, \ldots A_{3n}; m_{31}, m_{32}, \ldots m_{3n}), \quad (1)$$

где A_{3i} – парк i-х АТС; W_{3i} и m_{3i} – соответственно, объем транспортной работы и масса ЗВ одной единицы i-х АТС за календарный период.

Уровень 2:

$$P_2 = L_{2k} \sum f(q_{21}, q_{22}, \ldots q_{2n}; A_{21}, A_{22}, \ldots A_{2n});$$

$$M_3 = L_{2k} \sum f(g_{31}, g_{32}, \ldots g_{3n}; N_{21}, N_{22}, \ldots N_{2n}), \quad (2)$$

где q_{2i} и g_{2i} – соответственно, транспортная работа и пробеговый выброс ЗВ i-х АТС в автотранспортном потоке на 1 км k-го участка длиной L_k; A_{2i} и N_{2i}, – число и интенсивность i-х АТС;

Уровень 1:

$$P_1 = \sum f(\omega_{11}, \omega_{12}, \ldots \omega_{1n}; t_{p11}, t_{p12}, \ldots t_{p1n});$$

$$M_1 = \sum f[L_{1k} g_{1L} + g_{1t}(t_{p11}, t_{p12}, \ldots t_{p1n})], \quad (3)$$

где g_{1L} и g_{1t} – выбросы ЗВ: пробеговый и на остановках i-х АТС под управлением j-х водителей; ω_{1i} и t_{p1i} – часовая производительность и время работы i-х АТС под управлением j-х водителей.

Рассмотрим методологию повышения ЭБ автомобильного транспорта управлением перевозочным процессом на каждом уровне по экологическим критериям.

На уровне 3 оптимизируется численность и состав регинального автопарка. Структура автопарка региона ΣA_i, должна соответствовать условию ЭБ ($c <$ СПДК). Моделирование проводилось для автопарков с изменяющимися соотношением численности автомобилей категорий M_1, M_2 и M_3, соответствующих нормам Евро-2.

Очевидно, организация «экологичного» регионального автопарка не исключает, что реализации перевозочного процесса АТК на низших уровнях могут создавать зоны «экологического риска» для участников движения. В работах [1, 5] показано, что на экологически небезопасных участках городских магистралей для снижения массы пробеговых выбросов до $M_{\text{доп}} = f(c_{\text{ПДК}})$ при выполнении транспортной работы в качестве объ-

ектов управления перевозочным процессом рекомендуется принимать: пассажирский маршрут и группу узловых перекрестков. В первом случае, заменяя на маршруте автобусы категории M_2 на автобусы M_3 большей пассажировместимости (при сохранении комфортности поездки сидя) по условию минимизации выбросов от транспортных средства категорий M_2 и M_3, во втором – регулируя интенсивность движения АТС по основной магистрали (на узловых точках участка периодически направляя поток M_1 и N_1 по параллельно пролегающей дорожной сети объекта управления).

На уровне 1 оптимизируется режим движения индивидуального экипажа (водитель и автомобиль). Перемещаясь на конкретном участке городской автомагистрали, автомобиль под управлением водителя, выполняя цели перевозки, совершает равномерное движение, остановки, разгоны и торможения, определяемые навыками вождения. В исследованиях [6, 7] управляющие воздействия j-го водителя на массу ЗВ i-го АТС оцениваются показателем $k_{эj} = M_{ВП}/(M_{ВП} + M_{ВН})$, где $M_{ВП}$ и $M_{ВН}$ – массы ЗВ АТС от управляющих действий j-го водителя, обусловленных и не обусловленных перевозочным процессом. Установлено, что масса ЗВ выполняющего плановую транспортную работу АТС зависит от профессионального стажа водителя ($k_э$ изменяется от 0,7 до 0,1) и его личностных качеств ($k_э = 0{,}6$-$0{,}8$). Подбор профессиональных водителей по этим критериям позволяет выполнять транспортную работу с минимумом режимов движения, не обусловленных перевозочным процессом (необоснованные маневры, резкие разгоны, интенсивные торможения и т.д.), оставляя больше времени на остановки для наполнения салона.

При комплексном решении проблемы ЭБ автомобильного транспорта в крупных городах на основе построения трехуровневых оптимизационных моделей необходима единая база данных, сформированных в понятиях предметной области на всех уровнях перевозочного процесса, обеспечивающая возможность системного анализа развития экологической ситуации на городской дорожной сети, – серверный центр экологического мониторинга (СЦЭМ) технологического процесса перемещения грузов и пассажиров автомобильным транспортом.

Сбор информации для СЦЭМ как компонента городской интеллектуальной транспортной системы может выполняться по данным периодических проверок технического состояния АТС, при получении и продлении лицензии на маршрут, по результатам оперативного мониторинга состояния ОС на городских магистралях передвижными лабораториями, контроля движения АТС на маршрутах по навигационной информации системы ГЛОНАСС/GPS. Для приема, архивирования информации и моделирования сценариев развития экологических ситуаций на УДС могут быть использованы продукты ГИС-технологий, в частности, отечественные разработки – программа УПРЗА «Эколог».

Накопление таких данных остро необходимо для выполнения многих видов градостроительного и транспортного планирования и позволит повысить обоснованность управленческих решений, в том числе прогнозировать эффект введения экологически ориетированных технологий в перевозочный процесс автомобильным транспортом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние водителя как субъекта локальной экосистемы на уровень экологической опасности участка городской улично-дорожной сети / Е.В.Богданова, Е.И.Железнов, Ю.Я.Комаров, В.Н.Федотов // Экологические системы и приборы. 2008. № 11. С.60-64.

2. *Гудков В.А.* Квотирование числа пассажирских автотранспортных средств по критерию экологической безопасности / В.А.Гудков, В.Н.Федотов // Стандарты и качество. 2003. № 2. С.44-48.

3. *Зырянов В.В.* Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении / В.В.Зырянов, В.И.Коноплянко, В.Г.Кочерга. Ростов-на-Дону, 2001. 108 с.

4. *Ложкин В.Н.* Автомобиль и окружающая среда. Автомобильный транспорт, как источник загрязнения окружающей среды. Проблемы и решения: Справочно-методическое пособие / В.Н.Ложкин, А.А.Грешных, О.В.Ложкина. СПб, 2007. 305 с.

5. *Луканин В.Н.* Промышленно-транспортная экология: Учебник для вузов / В.Н.Луканин, Ю.В.Трофименко. М., 2003. 273 с.

6. Надежность водителей пассажирского автотранспорта / В.А.Гудков, В.Н.Федотов, Р.А.Жирков, Е.В.Богданова // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2007. № 10. С.11-16.

7. *Федотов В.Н.* Выбор объекта и алгоритма нейропрограмм координации систем управления дорожным движением по критерию риска экологического воздействия // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 1. С.3-8.

8. Downtown Parking and Mobility Management Plan // Wichita, Kansas, November 2009, 171 p.

9. Transportation Demand Management // Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, April 2009, 118 p.

REFERENCES

1. Vliyaniye of the driver as subject of a local ecosystem on level of ecological danger of a site of a city street road network / E.V.Bogdanova, E.I.Zheleznov, Yu.Ya.Komarov, V.N.Fedotov // Ecological systems and devices. 2008. N 11. P.60-64.

2. *Gudkov V.A., Fedotov V N.* Quoting of number of passenger vehicles by criterion ecological safety // Standards and quality. 2003. N 2. P.44-48.

3. *Zyryanov V.V., Konoplyanko V.I., Kocherga V.G.* Century of Century. Intellectual transport systems in traffic. Rostov na Donu, 2001. 108 p.

4. *Lozhkin V N., Greshnykh A.A., Lozhkina O.V.* Avtomobil and environment. Motor transport, as environmental pollution source. Problems and decisions: Reference grant. Saint Petersburg, 2007. 305 p.

5. *Lukanin V N., Trofimenko Yu.V.* Industrial and transport ecology: Uchebn. for higher education institutions. Moscow, 2003. 273 p.

6. Nadyozhnost of drivers of passenger motor transport / V.A.Gudkov, V.N.Fedotov, R.A.Zhirkov, E.V.Bogdanova // Cargo and passenger motor transport service. 2007. N 10. P.11-16.

7. *Fedotov V N.* Vybor of object and algorithm of neuroprograms of coordination of control systems of traffic by criterion of risk of ecological influence // Devices and systems. Management, control, diagnostics. 2010. N 1. P.3-8.

8. Downtown Parking and Mobility Management Plan // Wichita, Kansas, November 2009, 171 p.

9. Transportation Demand Management // Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, April 2009, 118 p.