

УДК 551.51

Канд. техн. наук Л.С. Шелудченко¹**ДИНАМИКА МИГРАЦИИ ГАЗОПЫЛЕВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ,
ПРОИЗВЕДЕННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ**

Ключевые слова: газопылевой аэрозоль, ротор турбулентности, микроклимат, автотранспортный поток, сеть автомобильных дорог

Приведены результаты аналитических исследований динамики миграции выбросов, производимых потоками автотранспортных средств, в виде газопылевых аэрозолей. Установлено, что в результате дивергенции потока аэрозольных частиц формируются трехмерные роторы аэрозольной среды. Определены основные факторы формирования локальных микроклиматов в зоне функционирования автотранспортных потоков.

Актуальность работы. Эмиссия минеральных частиц и газовых выбросов автотранспортных потоков в виде газопылевых аэрозолей сопровождается их миграцией вследствие естественных процессов в атмосфере, прилегающей к ландшафтным поверхностям резервно-технологических зон автомобильных дорог [1, 2]. При этом, частицы примесей принимают участие, как в ламинарных, так и в турбулентных перемещениях потоков атмосферного воздуха [4, 5].

Анализ предыдущих исследований. В общем случае концентрация q выброса аэрозольного облака, которое диффундирует в атмосферном воздухе и мигрирует совместно с естественными ветровыми потоками, является функцией времени t и пространственных координат (x, y, z) , начало которых располагается в мгновенном центре масс облака выброса [3]:

$$q = q(x, y, z, t). \quad (1)$$

Мерой диффузии в данном случае является масса ΔM диффундирующего вещества за единицу времени через единицу площади поверхности облака газопылевого выброса. При этом величина ΔM будет тем большей, чем большим будет отрицательное приращение концентрации Δq на единице длины вдоль всей совокупности направлений, вдоль которых происходит диффузия.

¹ Подольский государственный университет, г. Каменец-Подольский, Украина

Таким образом, для процесса диффузии характерной является пропорциональность усредненного смещения диффундирующих частиц аэрозоля квадратному корню из времени t [3]:

$$\{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2\} \propto t, \quad (2)$$

где x, y, z – координаты диффундирующей частицы аэрозоля в начальный момент времени t (1); x_i, y_i, z_i – координаты диффундирующей частицы аэрозоля в момент времени t_i от начала диффузии газопылевого облака выброса.

Соотношение (2) позволяет установить характеристику количества диффузии ΔM в виде коэффициента диффузии D [3]:

$$D = \frac{1}{6 \cdot t} \cdot \{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2\}. \quad (3)$$

Изложение основного материала. На основании постулата о термодинамическом равновесии и, как следствие, уравнения непрерывности, для описывания процесса диффузии газопылевого облака, которое состоит в выравнивании концентрации в термодинамической системе, получаем:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \text{div } j = 0, \quad (4)$$

где j – поток частичек аэрозоля от поверхности газопылевого облака.

Если учесть, что поток частиц аэрозоля пропорционален градиенту его концентрации q с коэффициентом пропорциональности D (3), получаем:

$$j = -D \nabla q, \quad (5)$$

или в феноменологической форме уравнение диффузии газопылевого облака выброса будет иметь вид:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \Delta q, \quad (6)$$

где $\Delta = \text{div } \nabla$ – оператор Лапласа.

Таким образом, в общем случае диффузии пространственно неоднородного аэрозоля газопылевого выброса, который произведен автотранспортным потоком:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \text{div } (Dq \nabla \mu), \quad (7)$$

где μ – потенциал выравнивания концентрации q аэрозоля газопылевого облака выброса в термодинамической системе.

Определяющим в (5) – (7) является оператор Лапласа:

$$\Delta = \nabla^2 = \text{div } \nabla, \quad (8)$$

который в данном случае определяет характер динамического равновесия давления в газопылевом облаке (на поверхности раздела фаз) в процессе диффузии облака в атмосфере в каждый конкретный момент времени t .

Дифференциальный оператор div , который отражает векторное поле на скалярное является дивергенцией. В (4) – (8) дивергенция – это линейный дифференциальный оператор на векторном поле, который характеризует поток аэрозольных частиц одномоментного газопылевого облака выброса через поверхность этого облака каждой из точек его внутренней области:

$$div F = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\Phi_F}{V}, \quad (9)$$

где Φ_F – поток векторного поля F через произвольную поверхность S газопылевого выброса, которая очерчивает определенный объем V аэрозоля, т.е.:

$$\Phi_F = \oiint_S (\vec{F}, d\vec{S}), \quad (10)$$

а следовательно, (10) не привязано к конкретной системе координат (в данном случае к пространственно-территориальным или ландшафтным параметрам природно-техногенной геосистемы, конструкционным размерам профиля автодороги или транспортно-технологическим показателям автотранспортного потока). С точки зрения процессов массопереноса аэрозоля газопылевого выброса могут быть рассмотрены такие возможные варианты:

- $div F > 0$ – произвольная точка газопылевого облака выброса является источником аэрозоля;
- $div F < 0$ – произвольная точка газопылевого облака выброса является стоком аэрозоля;
- $div F = 0$ – источники и стоки отсутствуют, либо компенсируют друг друга.

Третий из приведенных вариантов определяет формирование роторов в зонах турбулентного перемещения аэрозоля в виде:

$$div\{rot(F)\} = 0. \quad (11)$$

В общем виде турбулентный ротор газопылевого облака выброса (11) автотранспортного потока, диффундирующий в турбулентном потоке в трехмерном пространстве (с координатами – x, y, z), определяется как:

$$\begin{cases} (rot F)_x = \partial_y F_z - \partial_z F_y \equiv \frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \\ (rot F)_y = \partial_z F_x - \partial_x F_z \equiv \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x} \\ (rot F)_z = \partial_x F_y - \partial_y F_x \equiv \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \end{cases} \quad (12)$$

или в виде:

$$(\text{rot } F)_{m,n} = \partial_m F_n - \partial_n F_m, \quad (13)$$

где m, n – соответствующие координаты рассматриваемого пространства.

В соответствии с теоремой Коши-Гельмгольца распределение скоростей аэрозольной смеси в газопылевом облаке выброса вблизи некоторого центра масс будет задано как:

$$v(r) = v_0 + \omega \cdot r + \nabla \cdot \varphi + O(r), \quad (14)$$

где v_0 – вектор поступательного перемещения турбулентного ротора в направлении действия ламинарного потока; ω – вектор углового вращения аэрозольной среды вокруг центра его масс O ; r – усредненный радиус газопылевого облака выброса; φ – потенциал деформации газопылевого облака выброса.

Таким образом перемещения газопылевого облака выбросов относительно центра O его масс определяется совокупностью поступательного движения (вектор v_0) в ламинарных потоках атмосферного воздуха, вращательного движения ($\omega \cdot r$) облака вокруг O и потенциального формоизменения-деформации в виде вектора ($\nabla \cdot \varphi$). Применяя к (14) операцию rot получаем, что для центра масс облака (для точки O) справедливо:

$$v = 2 \cdot \omega, \quad (15)$$

и, как следствие, можно сделать вывод о том, что поле скоростей турбулентного ротора газопылевого облака выброса, произведенного автотранспортным потоком, относительно некоторого центра масс газопылевого облака (точки O) равен удвоенному вектору углового движения аэрозоля облака в центре масс облака.

По результатам вышеизложенного установлено:

- в диффузионном дивергентном поле турбулентных перемещений аэрозольного облака газопылевых выбросов, произведенных автотранспортными потоками, формируются роторы (области вращательного движения аэрозоля), которые принимают участие в поступательном движении ламинарных потоков атмосферного воздуха, сформированные в резервно-технологических зонах автомобильных дорог автотранспортной сети природно-техногенной геоэкосистемы;
- в роторах воздушные потоки вращаются вокруг центра масс аэрозольного газопылевого облака выброса и обязательно имеют ненулевой ротор вблизи центра масс облака;
- в зависимости от характера потока векторного поля частиц аэрозоля через контрольную (условную) поверхность газопылевого облака выброса (характера дивергенции) аэрозольный ротор может быть либо

источником, либо стоком этого поля (аккумулировать в роторе либо генерировать за пределами ротора аэрозольное облако);

- при конкретных динамических условиях источники и стоки в аэрозольном роторе могут отсутствовать, либо компенсировать друг друга (ни аккумуляции, ни генерации газопылевого облака выброса не происходит);
- для векторного поля v скоростей перемещения аэрозольного ротора, $rot v$ является одинаковым по всему полю (объему) ротора и равен вектору удвоенной угловой скорости вращения ротора;
- если движение автотранспортных потоков (с неустоявшимися скоростями потоков) и ландшафтные элементы резервно-технологической зоны автодороги описывать некоторыми определенными векторными полями, то роторы на срезах скоростей ламинарных потоков атмосферного воздуха, которые определяются этими элементами, всегда будут ненулевыми.

Ламинарные потоки перемещений атмосферного воздуха в пределах резервно-технологических зон автомобильных дорог могут быть описаны на основании уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right] = -\nabla p + \eta \Delta v + \left(\zeta + \frac{\eta}{3} \right) \nabla v, \quad (16)$$

где v – поле скоростей атмосферного воздуха; ρ – плотность воздушного аэрозоля; p – давление приземных слоев атмосферы; η – коэффициент динамической вязкости; ζ – объемная вязкость; ∇ – оператор Набла (векторный дифференциальный оператор, компоненты которого являются частными производными по декартовым координатам); Δ – оператор Лапласа (действие над скалярным или векторным полем, как сумма вторых частных производных по каждой декартовой координате).

При этом

- оператор Набла:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}, \quad (17)$$

- оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (18)$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы по осям x, y, z соответственно.

В уравнении (16) значения v, ρ, p, η, ζ – это стохастические переменные во времени свойства, которые при практическом использовании должны быть усреднены по времени. Действительно, если рассматривать

процессы миграции загрязнителей газопылевого облака выброса, которые обусловлены скоростями v ламинарных потоков атмосферного воздуха, то такие процессы являются эргодическими относительно усредненных значений параметров, если:

$$m_X = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(A, t) \cdot dt \quad (19)$$

и эргодическими по отношению к автокорреляционной функции, если:

$$R_X(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(A, t) \cdot X(t + \tau) \cdot dt. \quad (20)$$

В (19) и (20) применены следующие обозначения:

m_X – среднее значение функции $X(A, t)$, определенное по «ансамблю» рассматриваемого стохастического параметра; t – время усреднения; $R_X(\tau)$ – среднее значение отклика функции $X(A, t)$ определенное по времени, при этом для стационарных случайных процессов в широком значении:

$$R_X(t_1, t_2) = R_X(t_1 - t_2) = R_X(\tau) \quad (21)$$

и как следствие:

$$E\{X(A, t)\} = m_X = R_X(\tau) = const, \quad (22)$$

где $X(A, t)$ – функция исследуемого процесса.

В данном случае выражение (22) свидетельствует об эргодичности уравнения (16), что предоставляет возможность усреднения, для дальнейшего векторного анализа значений v, ρ, p, η, ζ уравнения.

В зонах возникновения турбулентности в соответствии с уравнением (16) параметр ∇v определяет появление некоторого градиента dv горизонтальных скоростей

$$\nabla v = grad v = \frac{\partial v}{\partial x} \cdot i + \frac{\partial v}{\partial y} \cdot j + \frac{\partial v}{\partial z} \cdot k, \quad (23)$$

где i, j, k – орты координатной системы (системы отсчета).

Если направление ламинарного потока атмосферного воздуха направить вдоль одной из координатных осей (ось x), то из (23) получаем (см. рис):

$$grad v = \frac{\partial v}{\partial x} \cdot i. \quad (24)$$


*Годограф швидкостей
повітряного потоку*

Рис. Градиент скоростей воздушных потоков и их импульс mv .

Градиент dv скоростей воздушных потоков в зоне возникновения турбулентности обуславливает перенос импульса mv с вертикальной скоростью u :

$$u = \eta \cdot \frac{\partial v}{\partial h}, \quad (25)$$

где η – коэффициент динамической вязкости; h – высота воздушного потока над поверхностью грунта.

Таким образом, горизонтальные ламинарные потоки атмосферного воздуха в зонах турбулентности являются «ансамблями» множества турбулентных роторов, которые кроме горизонтального вектора dv перемещения ламинарного потока имеют и вертикальную составляющую du . Процессы переноса массы аэрозоли (перенос импульса du) с одного уровня на другой (обмен массой аэрозоля между слоями атмосферного воздуха) характеризуются произведением флуктуаций горизонтальной составляющей dv на вертикальную составляющую du перемещения воздушных аэрозолей или, так называемой, вихревой ковариацией скоростей, как некоторой неопределенности произведения скоростей ($du \times dv$):

$$\begin{aligned} Cov(X, Y) &= E[(X - \mu_X) \cdot (Y - \mu_Y)] = E(X, Y) - \mu_X \cdot \mu_Y =, \\ &= \mu_{XY} - \mu_X \cdot \mu_Y \end{aligned}, \quad (26)$$

где E – оператор математического ожидания; μ_X – усредненное значение величины X (в данном случае горизонтальная скорость v воздушного потока); μ_Y – усредненное значение величины Y (в данном случае вертикальная скорость u воздушного потока); $E(X, Y)$ – математическое ожидание произведения величин X, Y ; μ_{XY} – усредненное значение произведения величин X, Y .

Рассмотрим перемещение аэрозолей в потоках атмосферного воздуха с горизонтальной v и вертикальной u составляющими воздушных потоков:

$$\begin{cases} v = \bar{v} + \delta v \\ u = \bar{u} + \delta u \end{cases}, \quad (27)$$

где \bar{v} та \bar{u} – значения усредненных горизонтальной и вертикальной составляющих скоростей воздушного потока; δv та δu – флуктуации горизонтальной и вертикальной составляющих скоростей воздушного потока.

Следовательно, процесс переноса массы m аэрозоля в ламинарных потоках атмосферного воздуха в зонах образования турбулентных потоков, как ковариация их горизонтальной и вертикальной скоростей $Cov(v, u)$ будет иметь вид:

$$Cov(v, u) = \frac{\sum \delta v \cdot \delta u}{n}, \quad (28)$$

где n – количество рассматриваемых переменных.

Если подставить (27) в (28), получаем:

$$Cov(v, u) = \frac{\sum(v-\bar{v})(u-\bar{u})}{n}. \quad (29)$$

Процесс непосредственного массопереноса аэрозоля, в рассматриваемом случае будет характеризоваться величиной потока массы, определяемым количеством массы m аэрозоля, переносимого через единицу площади за единицу времени. Поток массы зависит от количества массы m , размеров площади поверхности газопылевого облака выброса и времени переноса этого облака в воздушном потоке. Мгновенный горизонтальный поток импульса массы m зависит от горизонтальной скорости ламинарного воздушного потока, а вертикальный поток импульса массы m аэрозоля газопылевого облака выброса через составляющие скорости (v, u) воздушного потока определяется как:

$$F(t) = \rho \cdot v(t) \cdot u(t), \quad (30)$$

где ρ – плотность воздушного аэрозоля;

Усредненный поток импульса массы m аэрозоля будет составлять:

$$\overline{F(t)} = \bar{\rho} \cdot \overline{(v \cdot u)}. \quad (31)$$

Следовательно, вертикальный поток импульса является ковариацией между флуктуациями его горизонтальной v и вертикальной u скорости:

$$F = \rho \cdot \overline{(\delta v \cdot \delta u)}. \quad (32)$$

Таким образом, если вихревые флуктуации направлены вертикально вниз ($\delta v < 0$), флуктуации концентрации аэрозоля газопылевого облака выброса, обусловленные потоком импульса, будут иметь тенденцию к уменьшению $\delta m < 0$ и произведение $\delta v \cdot \delta m > 0$ является положительным. Если же вихревые флуктуации направлены вертикально вверх ($\delta v > 0$), то концентрации флуктуации аэрозоля увеличиваются по высоте, так как они перемещают вверх слои с большей концентрацией аэрозоля, а значит произведение $\delta v \cdot \delta m > 0$, которое определяется ковариацией между v и m , остается положительным.

Согласно уравнению (27) при увеличении горизонтальной скорости v воздушного потока увеличиваются и ее флуктуации δv , что обуславливает уменьшение толщины рассматриваемых слоев аэрозольных потоков в пределах устойчивого импульса $\overline{(\delta v \cdot \delta u)}$. Такой характер турбулентности при увеличении горизонтальной составляющей скорости v ламинарного воздушного потока приводит к формированию некоторой иерархии роторов турбулентности, которые связаны в каскадный процесс.

В пределах резервно-технологических зон автомобильной дороги фоновые климатические условия природно-техногенной геозкосистемы

претерпевают существенные изменения вследствие антропогенной трансформации ландшафта и специфики функционирования автотранспортных потоков, что приводит к формированию комплекса микроклиматов автодорожной сети. На формирование специфических микроклиматических условий в зоне функционирования автотранспортного потока, в первую очередь влияют такие факторы:

- линейность техногенного объекта (автомобильной дороги), что приводит к соответствующей трансформации и расчленению ландшафта природно-территориального комплекса;
- переориентация направлений природных воздушных потоков (ветров) соответственно трансформированным ландшафтным условиям (насыпи и выемки трассы автомобильной дороги, обустройство кавальеров и газо-пылезащитных лесополос, наличие просек и вырубок в лесных массивах и т.п.);
- непосредственные выбросы тепла и газопылевых аэрозолей, которые произведены автотранспортными потоками, что приводит к изменениям природного теплового баланса;
- замена почвы и подстилающего слоя поверхности природного ландшафта конструкционными материалами автодороги, которые изменяют гидродинамический и тепловой режимы природно-территориального комплекса.

Линейно-разветвленная структура автодорожной сети предусматривает, что процессы формирования микроклимата каждого конкретного участка дороги определяются в первую очередь характером вертикальных перемещений элементарных объемов (с размерами dx , dy , dz) воздушных масс в пределах резервно-технологической зоны автодороги. Основным фактором вертикальных перемещений элементарных объемов воздушного аэрозоля является разница температуры (T_i) этого элементарного объема воздушного аэрозоля и температуры (T_e) окружающей среды. Соответственно, ускорение элементарного объема аэрозоля газопылевого облака выброса, произведенного автотранспортным потоком, в вертикальном направлении будет определяться как:

$$\frac{dv_i}{dt} = g \frac{T_{i0} - T_{e0}}{T_e} + g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h, \quad (33)$$

где v_i – вертикальная скорость перемещения элементарного объема воздушного аэрозоля в каждой конкретной точке; t – время; g – ускорение свободного падения; T_{i0} – температура элементарного объема воздушного аэрозоля в момент выброса; T_{e0} – температура воздуха на уровне поверх-

ности автомобильной дороги; Δh – вертикальный размер рассматриваемого слоя воздуха; $\gamma - \gamma_a$ – разность температурных градиентов в Δh .

Представим (33) в виде:

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{dv_i}{dt}\Big|_{h=h_0} + \frac{dv_i}{dt}\Big|_{\Delta h}. \quad (34)$$

Очевидно, что вертикальное ускорение элементарного объема аэрозоля газопылевого облака выброса в уравнении (34) определяется вторым слагаемым его (уравнения) правой части, т.е.:

$$\frac{dv_i}{dt}\Big|_{\Delta h} = g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h. \quad (35)$$

По характеру вертикального перемещения элементарного объема аэрозоля газопылевого облака выброса, соответственно (35), могут быть выделены три случая состояния устойчивости атмосферы:

- если $\frac{dv_i}{dt}\Big|_{\Delta h} > 0$ вертикальные перемещения аэрозоля происходят с некоторым ускорением, скорость вертикального (направленного вверх) перемещения элементарного объема газопылевого облака выброса растет и, в этом случае, по определению стратификация слоев атмосферного воздуха является неустойчивой;
- если $\frac{dv_i}{dt}\Big|_{\Delta h} < 0$ вертикальные перемещения аэрозоля происходят с определенным замедлением (отрицательное ускорение), скорость вертикального (направленного вверх) перемещения элементарного объема газопылевого облака выброса уменьшается и по определению такой случай определяет стратификацию слоев атмосферного воздуха как устойчивую;
- если $\frac{dv_i}{dt}\Big|_{\Delta h} = 0$ воздушные массы, которые окружают газопылевое облако выброса, характеризуются значением градиента температуры $\gamma = \gamma_a$, а следовательно не вызывают изменений вертикальной скорости элементарных объемов аэрозоля и данный тип стратификации атмосферы определяют как безразличный.

Вывод. Результаты исследования динамики миграции газопылевых аэрозолей, произведенных автотранспортными потоками, должны быть учтены при выборе трассы автомобильной дороги и проектировании дорожной инфраструктуры для обеспечения экологической безопасности природно-техногенных геоэкосистем с развитыми сетями автодорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

2. Кавтарадзе Д.Н., Николаева Л.Ф., Поршнева Е.Б., Флорова Н.Б. Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия) – М.: Че-Ро, 1999. – 240 с.
3. Метеорологія і кліматологія / [під ред. С.М. Степаненка]. – Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008. – 534 с.
4. Sheludchenko L., Voznyuk S. The aerodynamics of polluting aerosols in the maze of lacunar cavities gas – dust proofing strip of roads // Buletin Stintific al Centrului Universitar Nord din Baia Mare, Seria D. – publishing house of the technical university of clujnapoca – utpess, 2014. – P. 63-70.
5. Sheludchenko L., Voznyuk S., Nosko V. The theoretical basis of the process of transport of contaminants in the prideaux-roznych landscapes in the presence of the dust belts // Scientific journal «Ecological safety»: Kremenchuk: KrNU, 2015. – Number 1/2015 (19). – P. 22-25.

Поступила 12.04.2018

Техн. ғылымд. канд. Л.С. Шелудченко

АВТОКӨЛІК АҒЫНЫНАН ШЫҚҚАН ГАЗДЫ ШАҢ АЭРОЗОЛДАР КӨШУІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

Түйінді сөздер: газды шаң аэрозоль, турбуленттік ротор, микроклимат, автокөлік ағыны, автомобиль жолдар желісі

Автокөлік құралдарынан шығарылған газды шаң аэрозоль түріндегі шығарындылар көшуінің динамикасын аналитикалық зерттеу нәтижелері келтірілген. Аэрозольдік бөлшектер ағынының ажырауы нәтижесінде үш өлшемді аэрозольдік орта роторлары құрылатыны белгіленді. Автокөлік ағыны бар аумақта жергілікті микроклиматтың құрылуының негізгі факторлары анықталды.

SHeludchenko L.S.

DYNAMICS OF MIGRATION OF GAS-DUST AEROSOLS, PRODUCED BY MOTOR TRANSPORT FLOWS

Keywords: gas-dust aerosol, turbulence rotor, microclimate, motor traffic, road network

The results of analytical studies of the migration dynamics of emissions produced by vehicle flows in the form of gas-dust aerosols are presented. It is established that as a result of the divergence of the aerosol particles stream, three-dimensional rotors of the aerosol medium are formed. The main factors of formation of local microclimate in the zone of functioning of motor transport streams are determined.